



AUTONÓM JÁRMŰVEK

Jövőformáló járműipari kutatások

Konferenciakiadvány 2021

SZÉCHENYI
EGYETEM
UNIVERSITY OF GYŐR

JÁRMŰIPARI
KUTATÓKÖZPONT
VEHICLE INDUSTRY
RESEARCH CENTER

SZÉCHENYI
EGYETEM
UNIVERSITY OF GYŐR

JÁRMŰIPARI
KUTATÓKÖZPONT
VEHICLE INDUSTRY
RESEARCH CENTER

zone

SZÉCHENYI
EGYETEM
UNIVERSITY OF GYŐR

SZÉCHENYI
EGYETEM
UNIVERSITY OF GYŐR

JÁRMŰIPARI
KUTATÓKÖZPONT
VEHICLE INDUSTRY
RESEARCH CENTER

JÁRMŰIPARI
KUTATÓKÖZPONT
VEHICLE INDUSTRY
RESEARCH CENTER

AUTONÓM JÁRMŰVEK
Jövőformáló járműipari kutatások
Konferenciakiadvány
2021. novemberi konferencia

Lektorok:

Dr. Eisingerné dr. Balassa Boglárka, Dr. Fodor Dénes,
Dr. Polák József László, Dr. Pup Dániel,
Dr. Titrik Ádám, Dr. Tóth Árpád, Dr. Varga Zoltán

Szerkesztette:

Dr. Szauter Ferenc

Csikor Dániel

Földesi Rita

Suta Alex

Széchenyi István Egyetem

2022

ISBN 978-615-6443-13-7

Tartalomjegyzék

TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2020

Vizuális odometria: irodalmi áttekintés és gyakorlati tapasztalatok.....	9
<i>Bézi Patrik</i>	
LiDAR adatok fuzionálása.....	19
<i>Dobay Balázs</i>	
Objektum detektáló neurális hálózatok alkalmazásai lehetőségei az autonóm járművek területén.....	27
<i>Dobay Tamás</i>	
Klotoid alapú lokális trajektória tervező kibővített Kálmán-szűrővel.....	33
<i>Ignécz Gergő, Horváth Ernő</i>	
Energiahatékony versenyjármű irányítási rendszerének fejlesztése.....	50
<i>Kecskeméti István</i>	
A ZalaZONE innovációs ökoszisztéma, mint a technológiai fejlesztések keretrendszere.....	57
<i>Tóth Csilla, Hány András</i>	
Szakirodalmi áttekintés úthibák detektálása témában.....	69
<i>Unger Miklós</i>	

MESTERSÉGES INTELLIGENCIA NEMZETI LABORATÓRIUM

Kapszula hálózatok hatékonysági vizsgálata ellenséges minták esetén.....	77
<i>Hollósi János, Ballagi Áron, Pozna Claudiu Radu</i>	
New retail in the virtual reality (Újfajta kereskedelem a virtuális valóságban).....	89
<i>Koteczki Réka</i>	
Consumer behaviour to AI (A fogyasztói magatartás és a mesterséges intelligencia.....	98
<i>Lukács Bence, Eisingerné Balassa Boglárka</i>	
Trajektória-tervezés önvezető járművek számára nagy felbontású térképek és Autoware segítségével.....	105
<i>Mesics Máttyás</i>	

AUTONÓM RENDSZEREK NEMZETI LABORATÓRIUM

Elektromos Gokart BMS fejlesztés.....	122
<i>Gulyás Péter</i>	
Energiahatékony háromfázisú motorvezérlő nyomtatott áramkört tervezése.....	129
<i>Gyórfy Richárd</i>	
The role of 5G in post-COVID economic recovery – impact of 5G on SMEs (Az 5G szerepe a post-COVID gazdasági fellendülésben – az 5G hatása a KKV szektorra.....	135
<i>Gyurián Nagy Nikolett, Eisingerné Balassa Boglárka</i>	
Jármű radar keresztmetszet mérés módszertani korlátai.....	147
<i>Jagicza Márton, Pekk Letícia</i>	

RGB pontfelhő létrehozása. Irodalmi áttekintés.....	160
<i>Krecht Rudolf</i>	
Járművezető mozgás-detektálása kamerakép elemző rendszer segítségével.....	166
<i>Nagy Viktor, Krecht Rudolf</i>	
Új technológiák kihívásai a járműipar példáján.....	176
<i>Pekk Leticia, Hány András</i>	
Különböző jármű hajtások tesztelési tapasztalatai.....	185
<i>Peszleg Richárd, Pekk Leticia</i>	
Műhold alapú nagy-pontosságú navigáció nagyvárosi környezetben V2X módszer segítségével.....	196
<i>Somogyi Huba</i>	
Több cellás akkumulátor rendszer töltöttségi állapotának és élettartamának monitorozására alkalmas eszköz tervezése.....	206
<i>Szakállas Gábor</i>	
Alacsony feszültségű, villamos hajtású jármű energiaelosztó rendszerének tervezése.....	213
<i>Szeli Zoltán</i>	
A Big Data szerepe az AMS tesztelési koncepció megvalósítása során.....	218
<i>Tóth Gábor, Pekk Leticia</i>	
Magyar autóiipari vállalatok pénzügyi adatainak elemzése a 2015-2019-es időszakban.....	227
<i>Suta Alex, Vig Sára Gerda, Kelemen Kitti, Tóth Árpád</i>	
From Production Crisis to Market Restructuring in the Automotive Industry.....	241
<i>Tóth Árpád, Suta Alex, Vig Sára Gerda, Kelemen Kitti</i>	



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROJEKT



TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2020

Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen

TKP2020-NKA-14

Támogatási összeg: 2 050 000 000 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2020.07.01. – 2022.06.30.

Projektismertető:

A Tématerületi Kiválósági Program 2020 – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen alprojekt célkitűzése az autonóm járműirányítás fejlesztése az alábbi kutatási területeken:

1. Autonóm jármű szenzorrendszer fúziójával történő irányítás kutatása (Autonóm járművek kooperatív irányítása az intelligens közlekedési rendszerekben)
2. Modell alapú digitális ikrek alkalmazása az autonóm járműirányításban (Digital Twin alkalmazása autonóm járműrendszerekben)
3. Autonóm járművekhez igazodó fizikai és digitális közúti infrastruktúra kialakítása
4. Autonóm járművek intelligenciájának mérése (5G air interface és szinkronizációs architektúra kutatása az alacsony késleltetési igényű V2X alkalmazások kiszolgálására)
5. Autonóm járművek társadalmi és gazdasági kérdései
6. A Zalaegerszegi Járműipari Tesztpályához kötődő teszt- és kísérlettervezés (A Zalaegerszegi Járműipari tesztpályához kötődő kutatások támogatása és hasznosítása)

Vizuális Odometria

Bézi Patrik

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Autonóm járművek lokalizációjára már többfajta megoldás is létezik. Számos szenzor, mérőműszer és navigációs eszköz teszi lehetővé a pontos méréseket. A vizuális odometria alapelve, hogy kizárólag a járműre rögzített kamera képe és annak változásai alapján próbálja meghatározni a bejárt útvonalat. Erre készültek egyszerű algoritmuson alapuló megoldások, amik főként a különböző jellemző pontok megtalálásán és azok mozgásának lekövetésén alapulnak. A következő cikkben bemutatásra kerül néhány ilyen technika, illetve kitérek ezek korlátaira a tesztekben elért eredmények alapján.

Kulcsszavak: lokalizáció, vizuális odometria, környezetérzékelés, kamera

Abstract: Localization of autonomous vehicles is already possible with several types of methods. There are plenty of sensors, measurement devices and navigation tools which provide the possibility of accurate measurements. Visual odometry solutions are based on the framesequences of the camera fixed on the vehicle and they try to define the trajectory of its path. For this some simple algorithms were created, which try to detect and track feature maps. This article presents such techniques and their results showing the limitations of them.

Keywords: localization, visual odometry, environment perception, camera

A Vizuális Odometriáról röviden

A vizuális odometria – amit a továbbiakban VO-val fogok rövidíteni – egy becslési folyamat, amellyel képi bemenetek sorozatából határozhatjuk meg a rögzített kamera helyzetét. Gyakorlatilag a *SLAM*¹ egy építőeleme. A VO két kép bizonyos jellemzőinek pixelben való elmozdulását figyeli. Ilyen jellemző lehet például egy sarokpont, egy bizonyos alakzat, egy adott felület éle vagy akár mesterséges intelligencia segítségével felismert objektum.

A vizuális odometria felhasználása

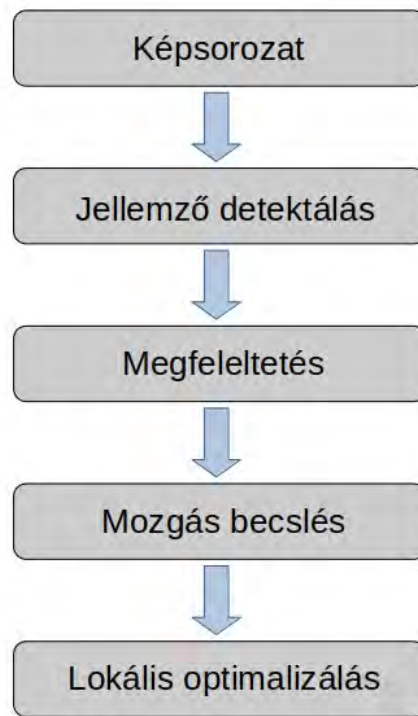
A VO egy viszonylag olcsó és alternatív technika lehet trajektória becslésre, amely akár pontosabb lehet, mint a GPS, illetve az úgynevezett bicikli modellen alapuló odometria, amely a kormányoszög és a keréksebesség alapján határozza meg a jármű pozícióját. Ez a modell azonban hajlamos egy megtett távolságon túl elintegrálódni. Tapasztalataink alapján ez azt jelenti, hogy kb. 15-20 méter után a pozícióbecslés nagyon pontatlanná válik. [3]

A képi bemenetek számos információval szolgálnak, amelyek a VO-s algoritmusokban felhasználhatóak, melyek függetlenek a kerék csúszásából, illetve az utak egyenetlenségéből eredő „hibás” mozgásoktól. Egy kamera viszonylag könnyen rögzíthető a legtöbb járműre, nincs hatással az algoritmus működésére, hiába rendelkezik más méretekkel például.[3]

A vizuális odometria „tájékozódása”[4]

A VO működését az 1. ábra szemlélteti. A bemenet egy képsorozat, amelynek minden egyes képkockáján a korábban említett jellemzőket kell megkeresni, amelyeket aztán az algoritmus lekövet, majd további optimalizálási eljárásokat hajt végre lokálisan.

¹ Simultaneous Localization and Mapping - egyidejű lokalizáció és térképezés



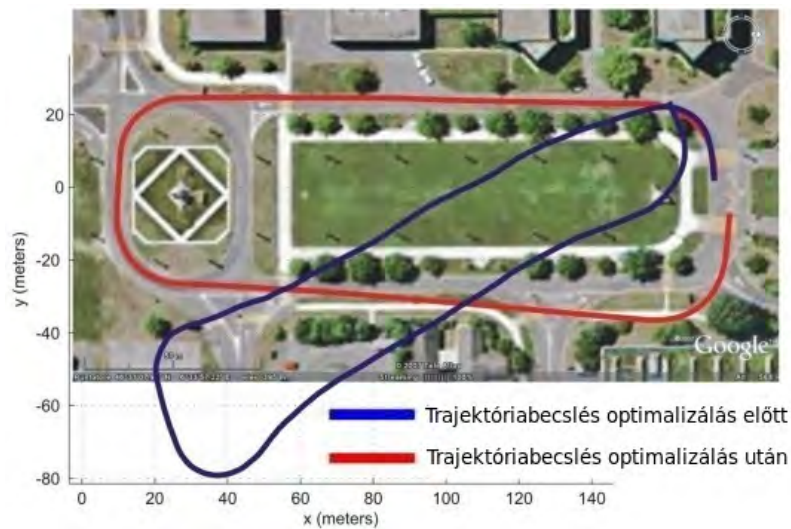
1. ábra: A VO folyamatábrája [4]

A 2. ábrán látható, hogy a kétdimenziós képen ugyanazon pontok elmozdulását megfelelő felismerés alapján le lehet követni két képkocka között. A különböző jellemzők felismerése ezért fontos tényező a VO számára, hiszen ezek elmozdulása segíti a tájékozódást. A VO által számított pozíciók alapján lehet később megrajzolni a bejárt trajektóriát.[4]



2. ábra: A főbb jellemzők detektálása a képsorozatokon [4]

A túlzottan kiugró értékek törlése lehetővé teszi az útvonalbecslés optimalizálását lokálisan, melyet szemléltet a 3. ábra, ahol a kék vonal jelenti a becsült útvonalat optimalizálás előtt, a piros pedig az optimalizálás után.



3. ábra: A lokális optimalizálás szemléltetése [4]

Jellemzők keresése

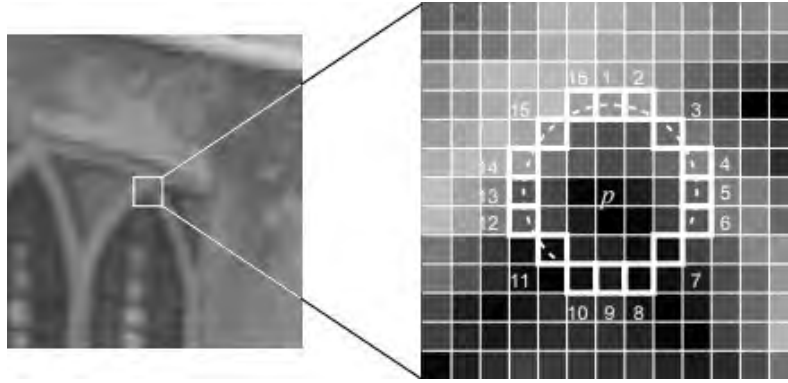
A jellemzők detektálásának egyik közkezdvelt módszere a FAST² nevű algoritmus. Mivel ez az általam tesztelt megoldások közül kettőben is jelen van, így röviden ismertetem a működését.[1]

A FAST algoritmus sarokpontokat keres színintenzitás alapján, mely úgy történik, hogy az egyes pixeleket, valamint azok körsugarával megegyező távolságra lévőket hasonlítja össze. Ezt vizualizálja a 4. ábra.

A FAST algoritmus leírása a következő:

- Legyen P egy pont, amelyről teszteljük, hogy sarokpont -e, vagy sem.
- Legyen I_p a P pont intenzitása.
- Válasszunk ki egy t^3 küszöbértéket.
- Alakítsunk ki 16 pixelből álló kört a P ponton lévő pixel körül.
- A P pixel sarokpont, ha létezik egy n számú folytonos pixeleket tartalmazó halmaz, amelyek mind világosabbak, mint I_p+t vagy sötétebbek, mint I_p-t [1]

² Features from Accelerated Segment Test
³ threshold



4. ábra: A FAST algoritmus sarokpont detektálása pixelintenzitás meghatározásával [1]

Képlete:

$$S_{p \rightarrow x} = \{d, I_{p \rightarrow x} \leq I_p - t(\text{sötétebb}), I_p - t < I_{p \rightarrow x} < I_p + t(\text{hasonló}), I_p + t \leq I_{p \rightarrow x}(\text{világosabb})\} [1]$$

Ez az algoritmus robusztus és kisebb számítási igényű, mint egy neurális hálókön alapuló megoldás, ezért lettek először olyan VO-s szoftveren letesztelve, amelyek ezt a módszert alkalmazzák.

A neurális hálókön alapuló megoldások elsősorban egy adott környezethez való igazodást igyekeznek megoldani. A tapasztalatok alapján a sarokpont kereséses módszer ugyanis nem minden esetben használható.

A letesztelt rendszerek bemutatása

A tesztelésnél elsődleges szempont az volt, hogy látható legyen, hogyan teljesít a GPS mérésekkel szemben a VO. A kezdetekben ismerkedtem az egyes szoftverek beüzemelésével. Fontos tényező volt, hogy lehetőleg olyan megoldások kerüljenek tesztelésre elsősorban, amelyek ROS⁴ kompatibilisek, vagyis képesek legyenek feliratkozni egy kívánt *topicra*, amely ebben az esetben a kamera által hirdetett élőkép. Annak érdekében, hogy saját adatokkal is össze tudjam hasonlítani az eredményeket, korábban készült *rosbag* fájlok megfelelő *topicjainak* időbélyegzett adataival hasonlítottam össze az alkalmazott megoldások kimenetét. Az adatok az x , y , és z koordináták, valamint az orientáció voltak.

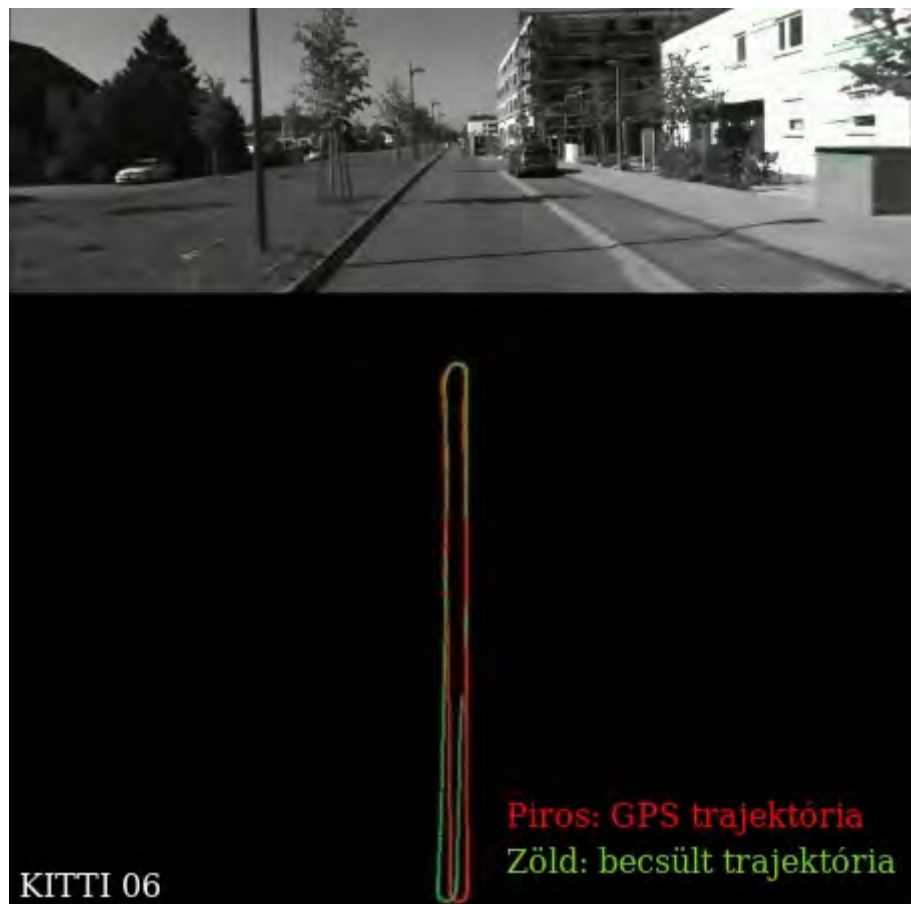
⁴ Robot Operating System nevű keretrendszer

Tesztelésre használt számítógép főbb paraméterei:

- ASUS GeForce GTX 1660 SUPER OC 6GB DDR6
- AMD RYZEN 3600
- 16 GB RAM DDR4 3200 MHz

Pyslam

Az első alkalommal ezt az algoritmust próbáltam ki, hogy lássam, hogyan is működik pontosan egy VO és milyen eredményeket kapok. A Pyslam egy szorgalmi projekt, amely befejezetlen, viszont nagy előnye, hogy viszonylag kevés függősége van, illetve, hogy ROS kompatibilis. KITTI adathalmazokon kipróbálva többnyire pontos eredmények születtek, ahogy az az 5. ábrán is látható.

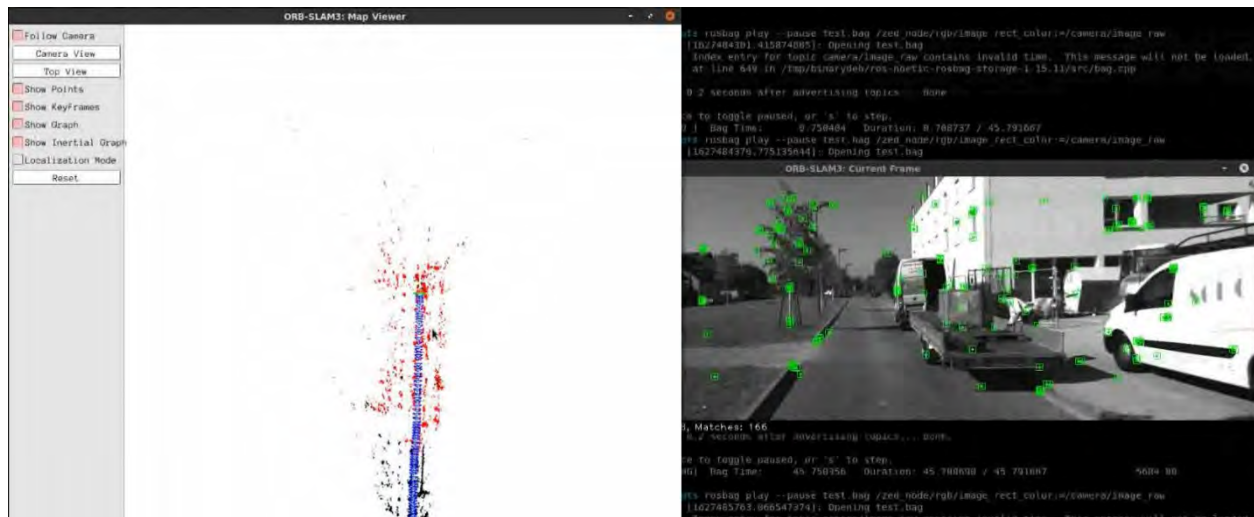


5. ábra: A Pyslam működése KITTI adathalmaz 6. képsorozatán

Saját felvételekkel sajnos nem sikerült működésre bírni, illetve tesztelés alatt az is kiderült, hogy a szoftver nem elég fejlett ahhoz, hogy egy önvezető járműnek meghatározza az általa bejárt útvonalát.

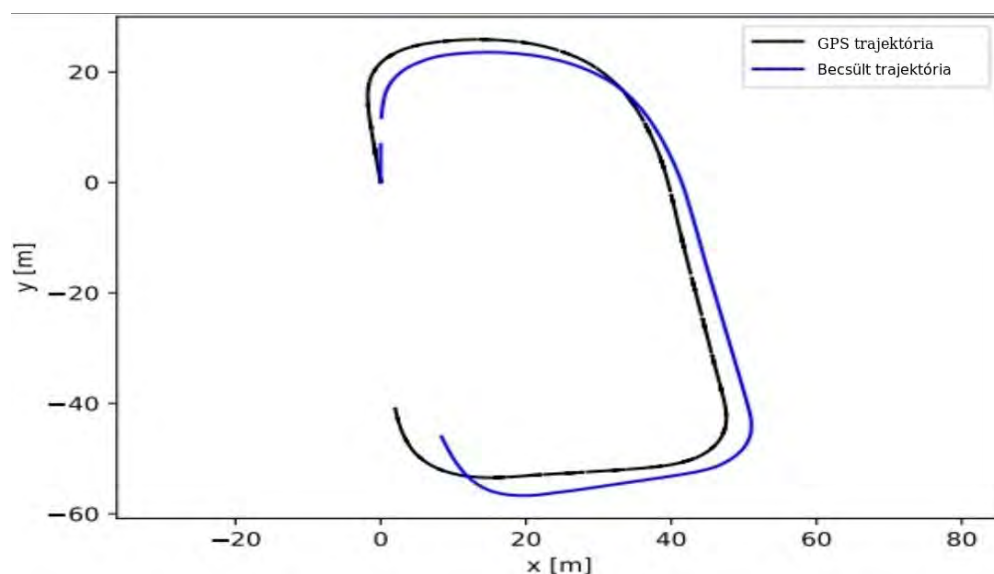
ORB-SLAM3 [6]

Az előző algoritmus után az ORB-SLAM3 nevű megoldással próbálkoztam. A módszer fő előnye a Pyslammal szemben, hogy tartalmazza a *loop closure* nevű funkciót. Ez lehetővé teszi, hogy a szoftver felismerje a jármű kiindulópontját, amely versenypályák feltérképezésénél például egy hasznos funkció. Az ORB-SLAM3 szintén *FAST* algoritmust alkalmaz a jellemző pontok megtalálására, illetve ROS kompatibilitásának köszönhetően képes élőképes feldolgozásra.[2]



6. ábra: Az ORB-SLAM3 működése KITTI adathalmazon. A jobb oldali képen zölddel jelzett pontok az algoritmus által megtalált sarokpontok.

Az ORB-SLAM több formátumban is kimentí a kiszámolt adatokat, amelyekből az *evo* nevű Python csomag segítségével könnyen rajzolható trajektória. Egy korábbi rosbag felvételtől származó eredmény a 7. ábrán is látható.



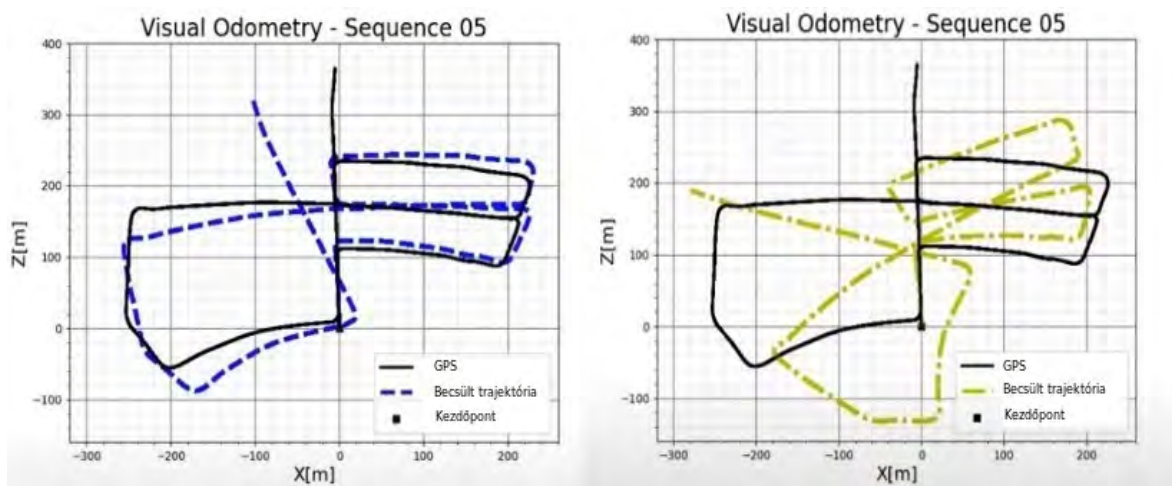
7. ábra: Az ORB-SLAM3 működése a Széchenyi István Egyetem Campus területén bejárt területen.

Az ORB-SLAM3 egy alkalommal adott elfogadható eredményeket saját felvételeken, ez látható a 7. ábrán. Később egyéb városi felvételeket és más területeken készült *rosbag* fájlok képi bemeneteit átadva rendszeresen elvesztek a jellemző pontok, illetve nem találta őket, ennek az oka, hogy a VO rendszereknek is megvannak a maguk korlátai, amelyeket a teszteredményekkel foglalkozó fejezetben le is írtam.

Bár az ORB-SLAM támogatja a sztereókamerákat, üzembehelyezéskor nagyon hamar elvesztek a detektált sarokpontok. Ezek mellett egyes felvételeknél rendszeresen voltak tapasztalhatóak fagyások, amelyek alapján egy Jetson TX2 típusú eszköz a szerényebb teljesítményével nagy valószínűséggel többször eldobta volna a programot.

MagicVO, DeepVO [5, 7]

Az egyszerű sarokpont kereső algoritmusok után két másik VO-t is kipróbáltam, amelyek annyiban térnek el az előbb megismertettektől, hogy ezek neurális hálókat alkalmaznak. Betaníthatóak a *FlowNet* adathalmaz segítségével is, azonban az ábrákon látható eredményeken is kivehető, hogy pontosságban messze elmaradnak az *ORB-SLAM*-tól, ráadásul a számításigényük is rendkívül magas. A két ábrán látható útvonal feldolgozása közel fél órát vett igénybe, amely alapján kijelenthető, hogy élőképes feldolgozásra alkalmatlanok ezek a VO-k.



8. ábra: A DeepVO(balra) és a MagicVO által becsült útvonal

Egyéb fejlesztések

Az első tesztek után kaptam egy ZED2 kamerát, amelyet a hozzá tartozó kalibrációs szoftverrel konfiguráltam, illetve a változó fényviszonyok miatt érdemesnek tartottam kikapcsolni az automatikus exponálási módot, ugyanis befolyással lehet a sarokpontok megtalálására, illetve azok lekövetésére.

Teszteredmények, korlátok

A VO-nak számos korlátja van. Ennek kapcsán a gyakorlatom során a következő dolgok merültek fel:

- A jellemzők megtalálásához és követéséhez szükséges a megfelelő megvilágítás. Enélkül hamar elvesznek vagy nem is lesznek megtalálva.
- A tesztelt adathalmazokon (EuroC, KITTI) már előre bekalibrált adatok (kameratorzítás, mélységélesség, eltolások, forgatások, optikai megoldások) alapján sikerült megfelelő eredményeket kapni.
- Főként beltéri környezetben eredményes a VO
- Túl sok teret foglalt a kamera képében az ég → nehéz orientálódni, az algoritmus nehezen becsüli fel a távolságokat [6]
- A túl gyors fordulások homályosítják a képet → könnyen elvesznek a jellemzők, nehéz detektálni [6]
- ha egyéb ok miatt elvesznek a jellemzők (pl. változik a környezet), mindig 0-ról indul újra a SLAM, nem kapunk valós eredményeket, mert az újonnan detektált jellemzőket veszi alapul.
- A neurális hálókön alapuló VO-k nem elég pontosak, ráadásul nagyon lassúak
- A megnövekedett grafikai számítási igényeknek köszönhetően egy Jetson TX2 erőforrásait könnyen teljes leterheltségnek tehetünk ki vele.
- Kizárólag beltéri felvételeken rendre jól szerepelt az ORB-SLAM.

A kipróbált VO-s rendszerek közül a legmegbízhatóbban az ORB-SLAM3 működött. Sajnos saját környezetben csak egyszer sikerült beüzemelni, azonban ekkor nagyon hasonló eredmények születtek a GPS méréseken alapuló „ground truth” értékekhez képest, amely a korábbi ábrán látható is.

A Pyslam KITTI adathalmazokon elfogadható eredményeket adott, azonban mivel egy szorgalmi projektről van szó, saját videófelvételekkel már nem sikerült beüzemelni, semmilyen jellemző pontot nem talált, ráadásul hiányzott belőle a „loop closure” is, amely az önvezető járművekkel kapcsolatos fejlesztésekben és főként a tesztpályákon egy hasznos funkció.

A MagicVO és a DeepVO, amely két neurális hálón alapuló VO tanulmányok alapján megfelelő, azonban a tapasztalatok azt mutatják, hogy élőképes feldolgozásra teljesen alkalmatlanok, mivel mindkét megoldás már előre lementett képeksorozatból nyeri a bemenetet, illetve azokat is túl lassan dolgozza fel és rajzol belőle trajektóriát.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a Tématerületi Kiválósági Program 2020 keretein belül a „Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] - Edward Rosten and Tom Drummond - Machine learning for high-speed corner detection, Department of Engineering, Cambridge University, UK, 2006
- [2] - PhD. Gerardo Ramón Flores Colunga, Karla Daniela Martínez Esparza – Stereo Vision Based SLAM in Dynamic Outdoor Environments Using Deep Learning, México, October 2019
- [3] - Mohammad O. A. Aqel, Mohammad H. Marhaban, M. Iqbal Saripan, Napsiah Bt. Ismail - Review of visual odometry: types, approaches, challenges, and applications, 2016
- [4] - Scaramuzza, D., Fraundorfer, F., Visual Odometry: Part I - The First 30 Years and Fundamentals, IEEE Robotics and Automation Magazine, Volume 18, issue 4, 2011
- [5] - J. Jiao, J. Jiao, Y. Mo, W. Liu and Z. Deng, "MagicVO: An End-to-End Hybrid CNN and Bi-LSTM Method for Monocular Visual Odometry," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 94118-94127, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2926350
- [6] - Campos, Carlos AND Elvira, Richard AND Gómez, Juan J. AND Montiel, José M. M. AND Tardós, Juan D. - ORB-SLAM3: An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual-Inertial and Multi-Map SLAM, 2020, arXiv preprint arXiv:2007.11898
- [7] - Sen Wang, Ronald Clark, Hongkai Wen and Niki Trigoni - DeepVO: Towards End-to-End Visual Odometry with Deep Recurrent Convolutional Neural Networks, 2017

LiDAR adatok fuzionálása

LiDAR data fusion

Dobay Balázs

Széchenyi István Egyetem, Járműipari kutatóközpont

Absztrakt: Az önvezető járművek kutatásában egy meglehetősen fontos terület a járható útfelület pontos és konzisztens meghatározása. Ahhoz, hogy ez megvalósítható legyen, előfordulhat, hogy ugyanazon feladatra több szenzort együttesen kell felhasználni. A meghatározott probléma a Járműipari Kutatóközpont által, autonóm járműirányítás kutatására használt, Nissan Leaf járművön alkalmazott SICK és Ouster LiDAR szenzorokkal rögzített adatok feldolgozásával, valamint azok fúziójával kerül megoldásra. A két szenzor adatai alapján kijelölt szabad területek/járható útfelületek egyesítése során három különböző módszer kerül bemutatásra, mind működési és megjelenítési szempontból. A módszerek működésének kifejtése során egy egyszerűsített folyamatleírás segít az átláthatóság könnyítésében és az egyszerűbb megértésben. Végül a megoldások gyakorlati felhasználásának vizuális eredményei kerülnek bemutatásra.

Kulcsszavak: LiDAR adatok, geometriai modellek, metszet

Abstract: A fairly important area of research in self-driving vehicles is the accurate and consistent definition of the road surface. To achieve this, it may be necessary to use several sensors together for the same task. The defined problem is solved by processing and fusing the data recorded by SICK and Ouster LiDAR sensors on the Nissan Leaf vehicle used by the Vehicle Industry Research Center for autonomous vehicle control research. By merging the free areas/passable road surfaces selected based on the data from the two sensors, three different methods are presented, both in terms of abstract operation and visualisation. A simplified process description is provided to facilitate transparency and understanding of the operation of the methods. Finally, visual results of the practical application of the solutions are presented.

Keywords: LiDAR data, geometry models, intersection

Bevezetés

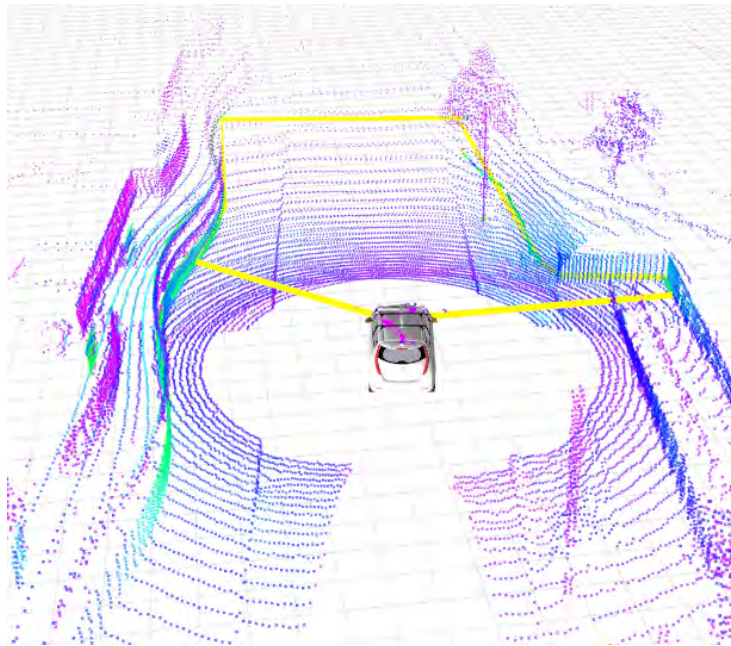
Az önvezető járműveknél nagyon fontos, hogy a környezet szenzorokon keresztül történő feltérképezéséből származó adatok feldolgozása során olyan műveletek kerüljenek alkalmazásra és az adatok olyan formában legyenek feldolgozva, hogy az adott feladat az elérhető maximális pontossággal és megfelelő hatékonysággal legyen ellátva. Maximális pontosság meghatározásánál a valósághoz legközelebb álló eredmény elérése a cél, míg a hatékonyságnál a rendelkezésre álló erőforrásoknak oly módon történő felhasználása, hogy a számítások meghatározott időn belül elvégezhetőek legyenek. Az alábbiak figyelembevételére azért is fontos, hiszen az olyan feladatoknál, mint az autonóm irányítás elengedhetetlen, hogy az azt végrehajtó szabályozórendszer a szükséges adatokat időben megkapja és aszerint lássa el feladatát.

A szenzor-adatfúzióknak számtalan kedvező hatása lehet, hiszen a cél az adott szenzorok működési sajátosságaiból és azokon alkalmazott eljárásokból származó előnyök kihasználása, egyesítése, valamint a kimeneti eredmények pontosítása. Ahhoz, hogy ez végrehajtható legyen, olyan fejlesztői környezetre és eszközökre van szükség, amelyek egyszerűsítik az adott feladat ellátását és megkönnyítik az egyes szenzorokból érkező adatok feldolgozását.

A szabad területek kijelölése a kutatáshoz alkalmazott járművön található SICK és Ouster szenzorok adatait felhasználó eljárások segítségével történik meg. Egyik fő különbség a két szenzor adatai között, hogy a jármű haladása során a SICK kétdimenzióban térképezi fel az adott időpillanatban a környezetet, míg ez az Ouster szenzornál három dimenzióban történik, mely nagymértékben meghatározza az adott szenzoron elvégezhető eljárásokat. A már korábban megfogalmazott elvárásokat a fejlesztői környezettel és a felhasznált eszközökkel kapcsolatban az ROS (Robot Operating System) teljes mértékben kielégíti, így a feladat elvégzésére az említett keretrendszerben kerül sor. Ezen kívül nagy jelentőséggel bír a geometriai műveletek elvégzésénél az ingyenes, lektorált Boost C++ könyvtárakba tartozó könyvtárak egy kollekciója, amely a geometry névre hallgat és olyan előre definiált koncepciókat, műveleteket és modelleket tartalmaz, amelyek lehetővé teszik geometriai problémák megoldását.

Feladatmeghatározás

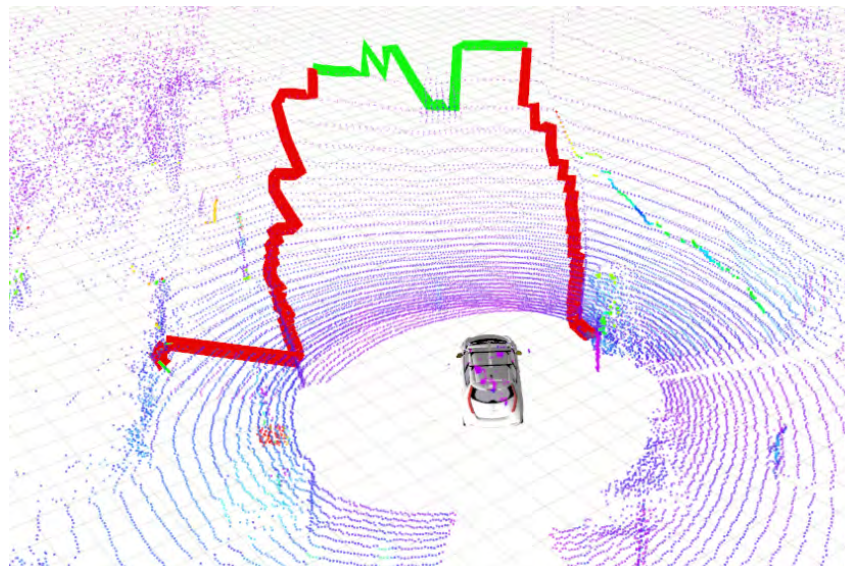
A feladat tehát a SICK és Ouster LiDAR szenzorok adatainak feldolgozása alapján kijelölt szabad területek egyesítése. A SICK LiDAR adatai alapján körülhatárolt terület az 1. ábrán látható:



1. ábra: SICK LiDAR szabad terület

A képen a sárga színű poligon határolja körbe a meghatározott szabad területet. Jól látszik, hogy a LiDAR egycsatornás mivolta miatt, a szenzor elhelyezése nagyban befolyásolja az érzékelés pontosságát és így a rögzített képen a szabad területbe ebben az esetben egy fa is belekerült. A feladat szempontjából lényeges információ tekintetében a poligon csúcsai a legfontosabbak és az azokat meghatározó X, Y és Z értékkel rendelkező pontok, melyek felhasználásra kerülnek a számítások elvégzésére.

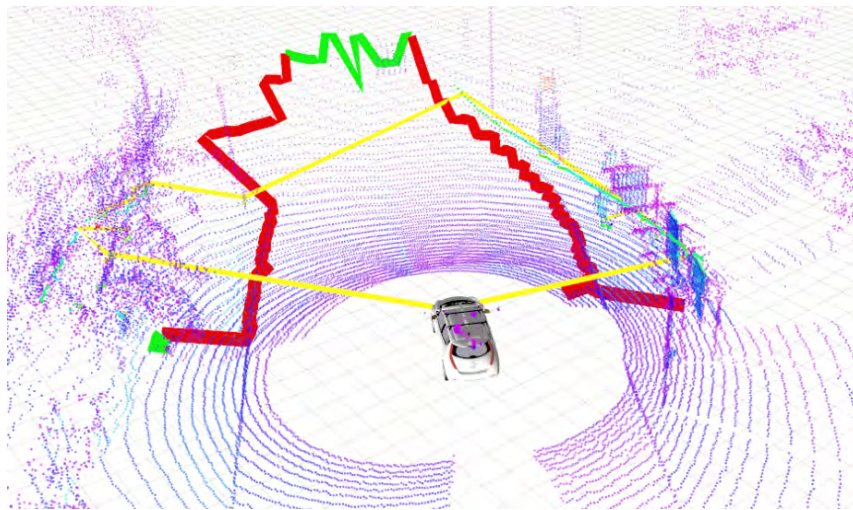
Az Ouster LiDAR adatai alapján kijelölt terület a 2. ábrán látható.



2. ábra: Ouster LiDAR szabad terület

A képen látható piros és zöld vonallal körbehatárolt terület a szabad terület. A SICK LiDAR adatain alkalmazott eljárásokhoz képest ez egy jóval részletesebb, több pontból álló határolóvonalat eredményez, amelynek köszönhető, hogy a szélek kevésbé sima szakaszokból állnak. Maga a kijelölővonal piros színe a nem járható irányokat reprezentálja, míg a zöld rész a járhatót. Fontos megemlíteni, hogy az útszélek felismeréséhez három különböző padkadetekciós eljárás van együttesen alkalmazva, valamint a körülhatároló vonalon kívül a területbe eső LiDAR pontok is meghatározásra kerülnek az eljárás során, amelyek így felhasználhatóvá válnak a fúziós feladat megoldása során.

Végül a két megoldás egyszerre történő alkalmazása a 3.ábrán látható:



3.ábra: Két megoldás együttes felhasználása

A feladat tehát ezen két terület metszetének minél pontosabb meghatározása. Fontos szempont, hogy a közös területből a levágás, valamint a számítási igénye a végrehajtott műveleteknek minimális legyen a végrehajtás során.

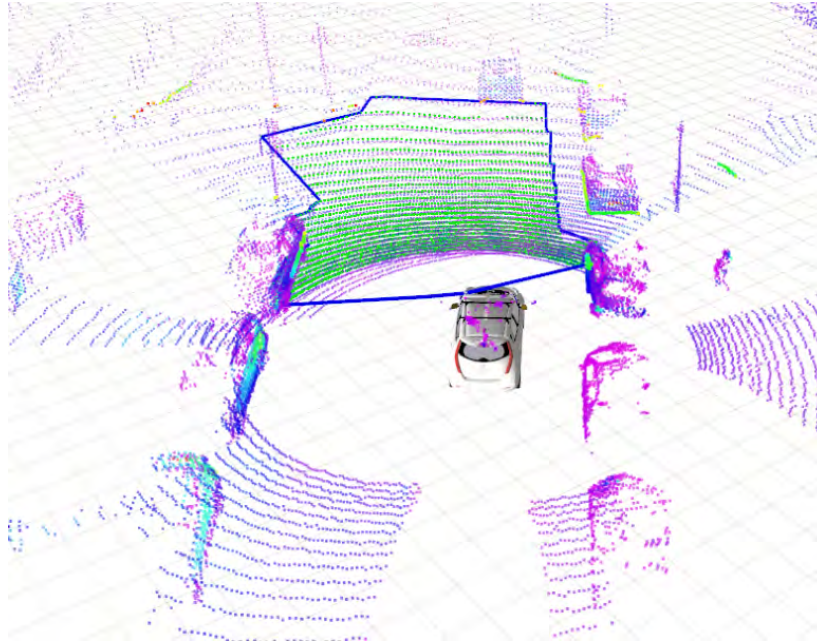
Megoldások a feladatra

Az első megoldás során az előző fejezetben említett Ouster LiDAR pontok kerültek felhasználásra, amelyek a kijelölt területbe esnek. A feladat a következő módon került végrehajtásra:

1. Az összes pontot meg kell vizsgálni, hogy beleesnek-e a SICK adatai alapján kijelölt poligonba. Erre több eljárás is létezik [1], amelyek közül a szomszédos csúcsok és az adott pont által közbezárt szögek összegén alapuló megoldás került implementálásra, majd kipróbálásra, de végső felhasználásban a már korábban említett geometry könyvtárába tartozó, hasonló módszeren alapuló eljárások lettek felhasználva a vizsgálat elvégzésére.

2. A pontok meghatározását követően egy félkörív körüljárása a következő lépés meghatározott beosztással és a minden egyes beosztáshoz tartozó legtávolabbi pont kerül eltárolásra.
3. Végül ezek a pontok fogják a metszett terület csúcsait alkotni és ez alapján kerülnek megjelenítésre.

Ezen folyamat eredménye a 4. ábrán látható:



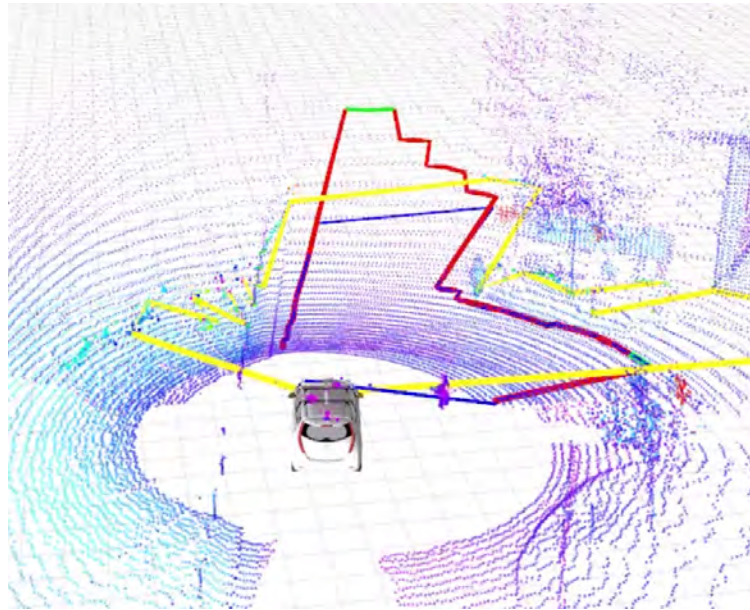
4.ábra: Első megoldás vizualizációja

Az ábrán látható zöld LiDAR pontok az első lépésben meghatározott pontok, a kék színű poligon csúcsai pedig a második lépésben eltárolt pontok. A megoldásról elmondható, hogy jól skálázható és könnyen több szenzor adatait is fel lehet használni a fúzióhoz ilyen módon. Hátránya talán a levágás nagyságában rejlik, hiszen minél távolabbi pontjait nézzük a LiDAR pontfelhőnek, annál ritkábbak a pontok és elképzelhető, hogy a határolóvonalak két körív közé fognak esni.

A második megoldás a szabad területeket körülhatároló vonalak metszéspontjainak meghatározásán alapszik. A feladat végrehajtása ebben az esetben a következő módon épül fel:

1. A két körvonal elmetszése, a geometry könyvtárba tartozó eljárások és modellek segítségével.
2. A két területet körülhatároló sokszög/vonal pontjainak olyan módú vizsgálata, hogy belesnek a másik területbe.
3. Az eltárolt pontok óramutató járásának irányával megegyező módon történő rendezése.
4. Szintén ezen pontok fogják a közös terület csúcsait adni, így kerülnek megjelenítésre.

A megoldás eredménye az 5. ábrán tekinthető meg:



5.ábra: Második megoldás vizualizációja

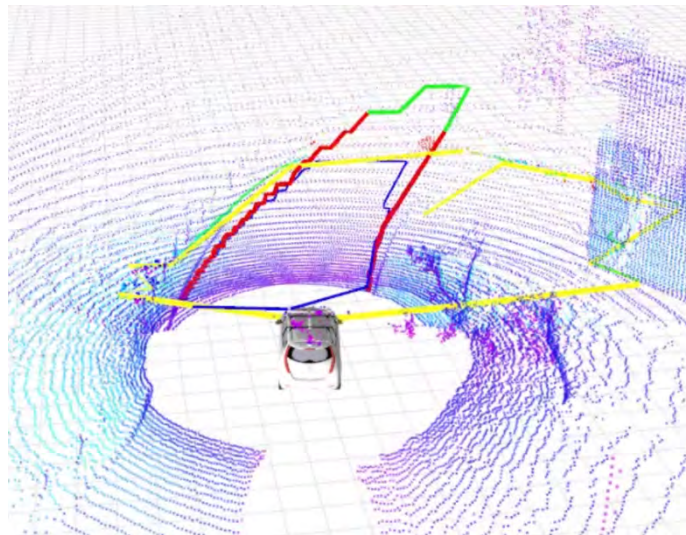
Az 5. ábrán szintén a kék színű vonallal kijelölt terület a közös terület. A megoldásról elmondható, hogy bár a levágás mértéke kisebb az előző megoldáshoz képest, viszont több a pontatlanság a körvonal csúcsainak meghatározását illetően.

Az utolsó megoldás, hasonlóan a már rendezésnél felhasznált módszerhez, egy adott félkörív körbejárásán alapszik, amely meghatározott szögbeosztással történik és minden beosztáshoz egy, a területekhez kapcsolódó legtávolabbi pontnál távolabbi pont és az autó elejénél meghatározott pont összekötésével kerül végrehajtásra. Ezen szakasz kerül elmetszésre a két terület kijelölő oldalaival/vonalaival.

A megoldás a következő módon épül fel:

1. A körív körbejárása, a meghatározott szakasz elmetszése a körvonalakkal minden egyes beosztásnál.
2. A metszéspontok vizsgálata, olyan szempontból, hogy melyik esik közelebb az autóhoz, a közelebbi pontok elmentése.
3. Az elmentett pontok fogják a közös területet kijelölő sokszög csúcsait alkotni, és így kerülnek megjelenítésre.

A megoldás eredménye a 6. ábrán látható:



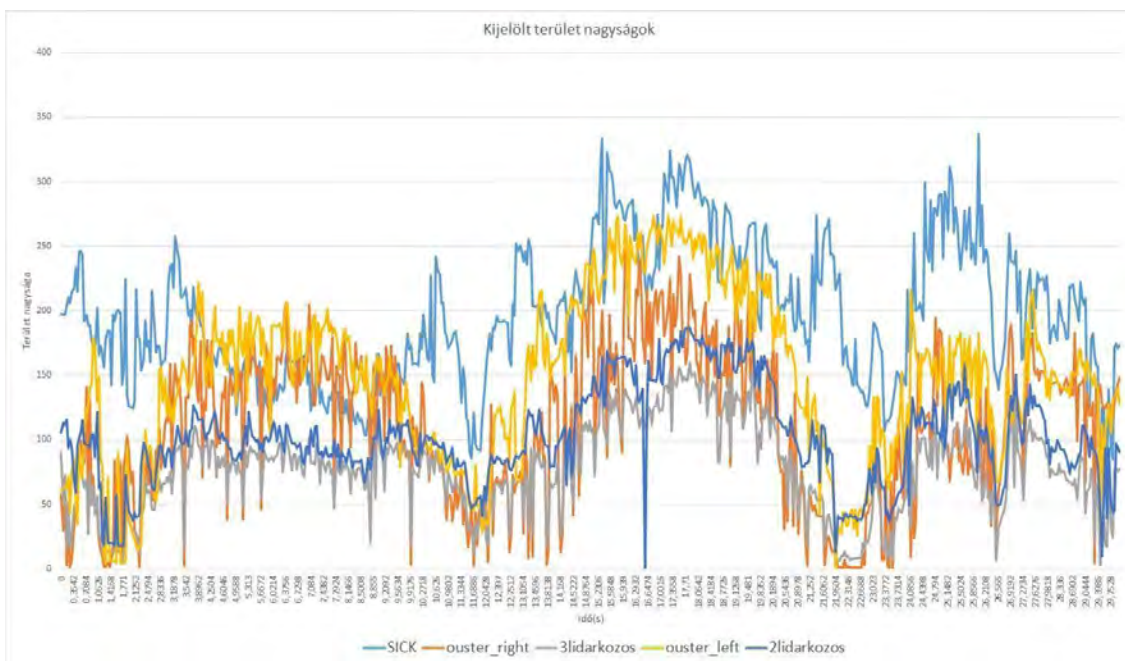
6.ábra: A harmadik megoldás vizualizációja

A megoldás főbb előnye, hasonlóan az elsőéhez, hogy jól skálázható, valamint pontosan, állítható részletességgel adja meg a közös területet kijelölő vonalának pontjait.

Javítási lehetőségek

Javításra a legnagyobb lehetőség a számítások és a megoldások optimalizációjában rejlik, hogy a megoldásokból származó adatokat az irányítás során hatékonyan fel lehessen használni. Ezen kívül a feladat bemeneti adataként szolgáló területkijelölő algoritmusok pontosításával és javításával lehetne megfelelőbb eredményeket kapni.

A 7. ábrán megtekinthető, hogy egy tesztút alkalmával, amely során rosbag-be lettek rögzítve a szenzoradatok, mekkora az egyes megoldásokkal kijelölt területek nagysága:



7.ábra: Az egyes megoldásokkal kijelölt területek nagysága

Az ábrán az X tengely a rosbag rögzített adatok időcímkéit jelöli, az Y tengely pedig az adott időpillanatban a megoldásokkal kijelölt területek nagyságát. A fúzióra az első megoldás került alkalmazásra és jól látható, hogy a bemeneti adatokban előfordulnak kisebb mértékű levágások, így ezeket mindenféleképpen meg kell szüntetni a jövőben. Az is látható, hogy három szenzor egyesítése esetén ezeknek a levágásoknak a száma is megnövekszik, így ezen a téren is lehet még javításokat alkalmazni a későbbiekben.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a Tématerületi Kiválósági Program 2020 keretein belül a „Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

[1] Huang, C. and Shih, T., 1997. On the complexity of point-in-polygon algorithms. *Computers & Geosciences*, 23(1), pp.109-118.

Objektum detektáló neurális hálózatok alkalmazási lehetőségei az autonóm járművek területén

Possible applications of object detecting neural networks in the field of autonomous driving

Dobay Tamás^a, Hollósi János^b, Markó Norbert^c

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

^cSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Az első konvolúciós neurális hálózatoktól, amelyek még csak egy képen szereplő objektumnak az éleit tudták meghatározni, mára már képesek az újabb típusú neurális hálózatok pixelpontosan különválasztani a különböző osztályokba tartozó objektumokat és egyben lokalizálni is tudják azokat. Mivel már ilyen komplexitású problémát is megbírnak oldani, ezért az autonóm működésű járművek szerves részeit képezik. Egy hasonló működésű képfeldolgozó szoftver, mint például egy objektum detektáló hálózat, pontosabb és részletesebb információt biztosít számukra, ezért bonyolultabb környezetekben is (mint például a közúti forgalom) pontosabb irányítást tudnak végrehajtani. Munkánk középpontjában az objektumdetektálás feladatát ellátó neurális hálózatokkal kapcsolatos tanulmányokban fellelhető leghatékonyabb módszer megtalálása a gyakorlatban, élő kameraképpel történő alkalmazása áll. Ahhoz, hogy egy ilyen hálózat felhasználható legyen az autonóm járművek területén különböző kritériumoknak kell megfelelnie. Ilyen követelmény a valós idejű futási sebesség megfelelő predikciós pontosság mellett. Megvizsgáltuk, milyen különböző alkalmazási lehetőségei vannak az objektum detektáló hálózatoknak az autonóm járművek területén. Ehhez a hálózat kimenetét egyesítettük 3D-s LIDAR pontfelhővel, hogy megnézzük hogyan lehet térben is lokalizálni a kameraképen már megtalált objektumokat.

Kulcsszavak: objektum detektálás, neurális hálózatok, valós idejű hálózatok

Abstract: From the first convolutional neural networks, which could only define the edges of an object in an image, they are now able to accurately separate different types of objects and locate them at the same time. As they can already solve complex problems like this, they are an integral part of autonomous vehicles. An image processing software with a similar function provides more accurate and detailed information for them, therefore they can execute a more accurate control in complex environments (like traffic).

The focus of our work is finding the most efficient solutions in research papers for this problem, and use it with live camera input. In order for such a network to be used in the field of autonomous driving, it must meet different criteria. A criterion like this is real-time inference speed with adequate accuracy. We examined the different applications of the object detecting neural networks in the field of autonomous driving. For this, we fused the detections with 3D Lidar point cloud to see how we can locate the found objects in 3D space. In the following I will present our results and experiences.

Keywords: object detection, neural networks, real time network

Bevezetés

A 20. század közepétől kezdve hatalmas fejlődésen mentek keresztül a gépi látás területén alkalmazott mesterséges neurális hálózatok. Az első konvolúciós neurális hálózatoktól, amelyek még csak egy képen szereplő objektumnak az éleit tudták meghatározni, mára már képesek pixelpontosan különválasztani a különböző osztályokba tartozó objektumokat és egyben lokalizálni is tudják azokat. Mivel már ilyen komplexitású problémát is megbírnak oldani, ezért különböző autonóm működésű berendezések és járművek szerves részeit képezik.

Egy hasonló működésű képfeldolgozó szoftver, mint például egy objektum detektáló hálózat, pontosabb és részletesebb információt biztosít számukra, ezért bonyolultabb környezetekben is (mint például a közúti forgalom) pontosabb irányítást tudnak végrehajtani.

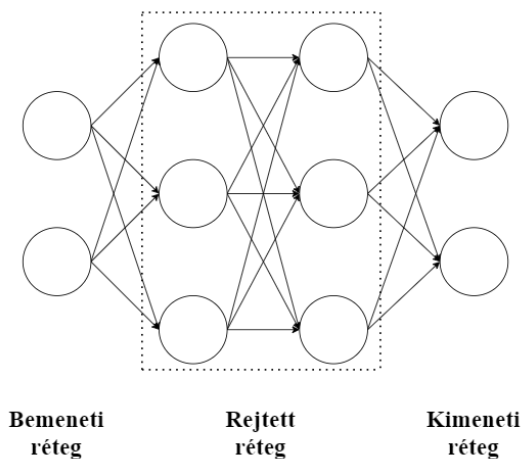


1.ábra: Példa egy objektumdetektáló hálózat kimenetére

Gyakran használt megoldások kamera alapú környezetérzékelésre az objektumdetektáló neurális hálózatok, amelyek képesek a bemeneti kép alapján befoglaló téglalappal meghatározni bizonyos objektumok helyzetét (lásd 1. ábra) és klasszifikálják is azokat előre meghatározott osztályokba. Hasonló kimenetfeldolgozással információ nyerhető a jármű környezetében elhelyezkedő, térben folyamatosan helyzetet változtató akadályok típusáról és távolságáról.

Konvolúciós neurális hálózatok

A mesterséges neuronhálózatokat az agyban található neuronok és azok összeköttetése ihlette. Egy ilyen hálózatot a neuronok és azok kapcsolatai alkotják. Ezek a neuronok rétegekbe vannak rendezve és az egyes neuronok összeköttetésben állnak az előző réteg neuronjaival. A többrétegű neuronhálózatok esetében három réteget lehet megkülönböztetni: a bemeneti réteg, a rejtett réteg és a kimeneti réteg (lásd 2. ábra).



2. ábra: Mesterséges neuronhálózat elvi felépítése

Erre a rendszerre sok nemlineáris függvény szuperpozíciójaként is lehet tekinteni, tehát a bemenet nemlineáris leképzése adódik a kimeneten. Ez a tulajdonság teszi lehetővé a mesterséges neuronháló alkalmazását olyan erősen nemlineáris problémák megoldásához, mint egy adott képen való objektum detektálása.

A mesterséges neurális hálózatok egy speciális részét képezik a konvolúciós neurális hálózatok, amelyek manapság a gépi látás szerves részét képezik. Felépítésük annyiban különbözik az előbbieken bemutatott mesterséges neuronhálózat modelljétől, hogy nincsen mindegyik neuron összeköttetésben a konvolúciós rétegek között, tehát ezek nem teljesen összekapcsolt hálózatok, és súlyozásuk konvolúciós rétegenként megegyezik.

Rejtett rétegük általánosságban konvolúciós rétegeket, összevonó rétegeket és teljesen összekapcsolt rétegeket tartalmaznak. Ezek közül a legérzékenyebb réteg a konvolúciós réteg, amely a bemeneti képről a konvolúció művelet segítségével tulajdonságtérképeket képez le, ami alapján a hálózat a kimenetén előrejelzésre képes. Az objektumdetektáló hálózatok is ezekre a konvolúciós neurális hálózatokra épülnek.

A felhasznált objektumdetektáló hálózatok összehasonlítása

Munkánk során több objektumdetektáló architektúrát is kipróbáltunk, illetve összehasonlítottuk őket pontosságuk, sebességük és erőforrás használatuk alapján (lásd 1. táblázat), melyekhez az alábbi mérőszámokat használtuk fel: FPS, vagyis, hogy a modell másodpercenként mennyi detekciót képes elvégezni; mAP, ami megadja, hogy az adott modell a Microsoft COCO [4] adatszetten átlagosan milyen pontossággal képes detektálni, valamint megnéztük, hogy a legfontosabb hardverek milyen mértékbe voltak kihasználva. A felhasznált modellek a YOLOv3 [1], az RFBNet [2], illetve a YOLOv5.

<i>Modellek</i>	<i>FPS</i>	<i>COCO test-dev mAP</i>	<i>CPU</i>	<i>GPU/VRAM</i>	<i>RAM</i>
YOLOv3	7	33	94 %	80 % / 911 MB	2.27 GB
RFBNet	11	33.8	63 %	40 % / 1709 MB	2.3 GB
YOLOv5	80	36.7	25 %	35 % / 653 MB	1.8 GB

1. táblázat: Az egyes modellek összehasonlítása különböző szempontok alapján

A felsorolt architektúrák mindegyike egy kisebb áttörést jelentett az objektumdetekció területén, ezért kerültek kiválasztásra. A YOLOv3 és YOLOv5 modellek a YOLO architektúra továbbfejlesztett verziói, míg az RFBNet az SSD [3] modell egy fejlettebb architektúrája. A fő különbség az említett modelleszaládok között, hogy amíg a YOLO egy $S \times S$ méretű négyzetrácsra bontja fel a bemeneti képet és ezeken határoz meg N darab befoglaló téglalapot az egyes objektumokhoz, addig az SSD csak egyszer futtat egy konvolúciós neurális hálózatot a bemeneti képen, ami alapján számolja a befoglaló téglalapok meghatározásához szükséges tulajdonságtérképet.

A legjobb eredményt a YOLOv5 objektumdetektáló hálózat érte el, mivel mind futási sebesség, mind erőforrás használat szempontjából kiemelkedően hatékonyabb a többi modellhez képest, amit bizonyít a magas FPS száma, valamint az alacsony hardver kihasználtsága, illetve predikciós pontossága is a legjobbnak bizonyult, mivel a legmagasabb mAP pontszámot produkálja. További munkánkat objektumdetektálással kapcsolatban ezzel az architektúrával folytattuk a Nissan Leaf beágyazott rendszerén.

Az objektumdetektáló hálózat kimenetének fúziója LIDAR pontfelhővel

További alkalmazási lehetőségként megvizsgáltuk, hogyan lehet a kamera és lidar szenzor fúziójával felhasználni az objektumdetektáló hálózatokat. Ehhez a képek pixelpontjait egyesíteni kellett a lidarból érkező pontfelhő pontjaival. Ezek a pontok szűrve lettek az alapján, hogy a prediktált objektumokhoz tartozó befoglaló téglalapokhoz tartoznak-e vagy nem. Ha igen, azokat a pontokat megtartottuk és egy másikfajta szűrést hajtottunk még végre rajtuk, mivel a befoglaló téglalapok nem csak magukat az objektumokat, hanem sokszor a háttérrel is tartalmazzák, emiatt a háttérhez is vannak pontok rendelve, ezzel zajossá téve a kimenetet. Ezt az alábbi módszerrel küszöböltük ki: megnéztük, hogy a megtartott pontok milyen távolságra vannak az adott objektumok középpontjaitól, ha egy bizonyos küszöbértéken kívül estek, azokat elvetettük.

Az így megmaradt pontoknál megvizsgáltuk, hogy egy adott sugáron belül mennyi pont található, ha a sugáron kívül esett egy pont vagy az adott ponthalmaz nem tartalmazott elég pontot, azokat is kivettük a végső kimenetből. A megoldással már térben is lokalizálni tudtuk az objektumokat a pontfelhő alapján, pótolva a kamera szenzor jellegéből származó hiányosságokat.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a Tématerületi Kiválósági Program 2020 keretein belül a „Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Redmond, J.; Farhadi, A.: *YOLOv3: An Incremental Improvement*
- [2] Liu, S.; Huang, D.; Wang, Y.: *Receptive Field Block Net for Accurate and Fast Object Detection*
- [3] Liu, W.; Anguelov, D.; Erhan, D.; Szegedy, C.; Reed, S.; Fu C. Y.; Berg, A. C.: *SSD: Single Shot MultiBox Detector*
- [4] 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*

Klotoid alapú lokális trajektória tervező kibővített Kálmán-szűrővel

A Clothoid-based Local Trajectory Planner with Extended Kalman Filter

Ignézi Gergő Ferenc^a, Horváth Ernő^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Jelen cikkben egy lokális trajektória tervező kerül bemutatásra, melynek elsődleges célja autonóm járművek keresztirányú mozgásának megvalósítása. A tervező bemenetei a sávszélek, melyek egy kétdimenziós rendszerben értelmezett koordináta pontokként állnak elő. A tervező célja, hogy a jármű előtt egy befutni kívánt görbét leíró ponthalmazt adjon meg. A trajektóriát úgy tervezem meg, hogy az kielégítse a biztonsági (nincs pályaelhagyás), kényelmi (korlátos oldalirányú gyorsulás) követelményeket és könnyen lekövethető legyen a szabályzó segítségével. A legjobb trajektóriát a klotoidok adják. A klotoid görbülete elsőfokú függvénye a távolságnak, amely megoldja az egyszerű körívek problémáját: a különböző sugarú körívek illesztésénél a kialakuló oldalirányú gyorsulásprofilban szakadás keletkezik, ezzel szemben a klotoidok illeszkedésénél az oldalgyorsulás változás folytonos. Munkám során egy kiterjesztett Kálmán-szűrőt használok a tervezett trajektória hibáinak kiszűrésére. Jelen cikk az első része egy hosszabb kutatásnak. A továbbiakban szeretnék egy automatizált kalibrációs környezetet kialakítani a szűrő paraméterek pontos hangolására.

Kulcsszavak: trajektória tervezés, Kalman-szűrő, klotoid, statisztikai kiértékelés, kalibráció

Abstract: The paper introduces a local trajectory planner designed specifically for lateral guidance of autonomous vehicles. The inputs of the planner are the lane edges in the form of corner point coordinates in a two-dimensional plane. The aim of the planner is to provide a series of trajectory points ahead of the vehicle. The trajectory shall be well-conditioned which means no border violation (safety), no high lateral acceleration (comfort) and good tracking properties.

The optimal conditions for driving have been found in using clothoid curves. The curvature of the clothoid is a linear function of the distance, which resolves the biggest disadvantage of circle conjunction: the discontinuity of the lateral acceleration. Clothoids have constant lateral jerk profile. In our work an Extended Kalman Filter is used with a clothoid model to consolidate inaccuracies of the lane detection system. The paper is presented as the first part of a research process. The algorithm introduced in this paper is planned to be continued with research on its automatized calibration procedures.

Keywords: trajectory planning, Kalman filter, clothoids, statistical evaluation, calibration

Bevezetés

a. A probléma motivációja

A cikkben bemutatott algoritmus egy teljesen autonóm irányítási rendszer fejlesztéséhez kapcsolódik. A járműnek egy alacsonysebességű $(50 - 100 \frac{km}{h})$ manővert kell végrehajtania egy ismeretlen, zárt pályán, amely egyeneseket és különböző kanyarokat is tartalmaz. A feladat egy lokális trajektória megtervezése a jármű koordináta-rendszerében. A kanyarok sugara és iránya változik, így olyan általános algoritmus fejlesztése a cél, amely lefedi ezt a működési tartományt. A minimális kanyarsugarat 5 méterben határoztuk meg. A tervezett trajektóriának jó lekövethetőségi és biztonsági tulajdonságokkal kell rendelkeznie. Ezen tényezők számszerű definícióját később tesszük meg. Az algoritmust terv szerint egy egyetemi prototípus járműben alkalmazzuk először, amellyel több egyetemi versenyen is részt veszünk, továbbá terveink között szerepel valódi járművel tesztelni közúti környezetben.

b. Fejlesztői környezet és interfészek

A tervező algoritmust Simulinkben valósítottuk meg. A Simulink modellt egy Robot Operating System (továbbiakban ROS) függvényé fordítjuk, amelyet így a teljes irányítási rendszerbe integrálhatunk. A tervező bemenetét úgy határoztuk meg, hogy kellően általános legyen és így több észlelési megoldással is alkalmazni tudjuk. A bemenet a jármű előtt kijelölt szabad terület határainak poligon pontjai. Néhány előszűrési lépést alkalmazunk a pontokra mielőtt a tervezőt meghívjuk. A lépések főleg a ponthalmazok egyszerűsítését jelentik Douglas-Peucker lineáris egyszerűsítési algoritmus segítségével [1], továbbá szűrést az egymáshoz túl közel eső pontokra. Alkalmazásunkban a bemenetet egy közepes hatótávolságú LIDAR szolgáltatja, amelyet a jármű elejére helyeztünk.

c. Validációs folyamat

Az algoritmus fejlesztését két nagyobb lépésre bontjuk. Az első lépésben feltárjuk a működés elveit, megvalósítjuk a tervezőt és a kiértékelési környezetet. Második lépésben történik az algoritmus működésének optimalizációja. Mivel a Kálmán-szűrők legnagyobb problémája a kovariancia mátrixok elemeinek pontos meghatározása, ennek külön kutatási időszakot szentelünk. A koncepció validálás céljából egy automatikus kiértékelő környezetet hoztunk létre, melyben indikátorokat határoztunk meg, amelyekkel jól leírható az algoritmus kimenetének jósága.

A környezet MATLAB szkripteken alapul. A bemenetet egy LGSVL szimulációs környezet biztosítja, amelyben rendelkezésre áll a környezet és a jármű teljes modellje. A kiértékelés során használt indikátorokat az 1. táblázat tartalmazza, melyeken felül a gyorsulások időben vett maximum és átlagértékeit is számoljuk.

Megnevezés	Leírás
Átlagos távolság	Trajektória pontok távolsága a sávszélhez, minden trajektóriára külön átlagolva.
Minimális távolság	Trajektória pontok minimum távolsága a sávszélhez képest.
Átlagos trajektória gyorsulás	Keresztirányú trajektória gyorsulás, minden trajektóriára külön átlagolva.
Maximális trajektória gyorsulás	Maximális keresztirányú trajektória gyorsulás.
Görbület gradiens	A maximális és átlagos görbület gradiens
Sávszélhez közel eső pontok	Azon pontok aránya az összes ponthoz, amelyek túl közel (<0.25m) esnek a sávszélhez, vagy azon kívül.
Sávszél sértő pontok	Azon pontok aránya az összes ponthoz, amelyek a szabad területen kívül esnek.

1. táblázat: kiértékelés során használt indikátorok

A tervezés háttere

A tervező alapja egy klotoid görbe tervezése egy adott peremfeltétel halmazon. A feltételeket a sávszél információk alapján határozzuk meg. A klotoid görbék kiértékelésével kapcsolatban a részleteket [2] tartalmazza. A kiértékelő megvalósítása is [2] alapján történt. A klotoid görbék olyan görbék, amelyekre igaz, hogy:

$$c(l_c) = c_0 + c_1 l_c \quad (1)$$

A kezdeti görbületet c_0 adja meg. Ha $c_1 = 0$ és $|c_0| > 0$ a görbe egy körív lesz. Ha $|c_1| > 0$ a görbe egy spirál-szerű ív lesz lineárisan változó görbülettel. A lekövető szabályzó keresztirányban a kormánysszög célértékét határozza meg. A célgörbület (a tervezett trajektória alapján) közvetlen összefüggésben áll a kormánysszöggel (2) szerint.

$$\delta_f = atan(cL) \quad (2)$$

Ahol:

- δ_f az elülső kormányoszög
- L a hátsó és az első tengely távolsága
- c a trajektória görbülete

Sok mozgásszabályzó használja ki a (2) szerinti összefüggést és használja a célgörbületet, mint egy előreecsatolt ágat a célkormányoszög meghatározásához. A legtöbb esetben (2) linearizálható és ezáltal egy egyszerű összefüggést kapunk a célkormányoszög számolására a célgörbület alapján. Amennyiben köríveket használunk a trajektória megtervezéséhez (pl. körívek egymás után különböző sugarakkal) a görbület megváltozása ugrásszerű lesz a kapcsolódási pontokon és így az oldalirányú gyorsulás is ugrásszerű változásokat fog tartalmazni, ez elméletileg Dirac-delta viselkedést okoz az oldalirányú rántás értékében. A rántást általában az általános komfort érzethez kapcsoljuk és így tekinthetjük úgy, mint az egyik kulcs mérőszámát a trajektória jószágának, így amennyiben köríveket választunk a trajektóriának, elméletben akár végtelen nagyságú rántásokat is kaphatunk. Ezt a nem kívánatos hatást kiszűrhetjük, ha körívek helyett klotoid görbéket használunk.

Egy klotoid görbe görbülete deriválható a megtett út szerint. [1] szerint bebizonyítható, hogy a tervezett trajektória keresztirányú gyorsulása szintén lineárisan változik a megtett úttal és így a rántás függvény, így az út függvényében folytonos. A megvalósításunkban minden időlépésben új trajektóriát tervezünk, amely a klotoid görbe leíró paraméterekként áll elő. [3] alapján a peremfeltételek a következők:

- $P_0(x_0, y_0)$ a görbe kezdőpontja,
- $P_1(x_1, y_1)$ a görbe végpontja,
- θ_0 a görbe kezdeti orientációja,
- θ_1 a görbe végorientációja.

A kezdő orientációt nullának választottuk. A kezdő és a végpontokat a sávszélek megfelelő pontjainak mértani közepeként választjuk meg, ezekkel a peremfeltételekkel tervezzük meg a klotoid görbék K_i együtthatóit (3) szerint.

$$K_i = \left[P_i \ c_{0,i} \ c_{1,i} \ L_i \right] \quad (3)$$

Ahol:

- P_i az i . görbe kezdőpontja,
- $c_{0,i}$ az i . görbe kezdő görbülete,
- $c_{1,i}$ az i . görbe görbület gradiense,
- L_i az i . görbe hossza.

A végorientáció meghatározásánál figyelembe vesszük a sávszélek eltérő hosszát. Erre azért van szükség, mert az értékelés jellegéből fakadóan élesebb kanyaroknál a belső ív sávszéle jóval rövidebb, mint a külső ívé és így a trajektória torzulhat. A végorientációt így a (4) szerint a hosszok szerinti súlyozott sávszél végorientációk átlagából számoljuk.

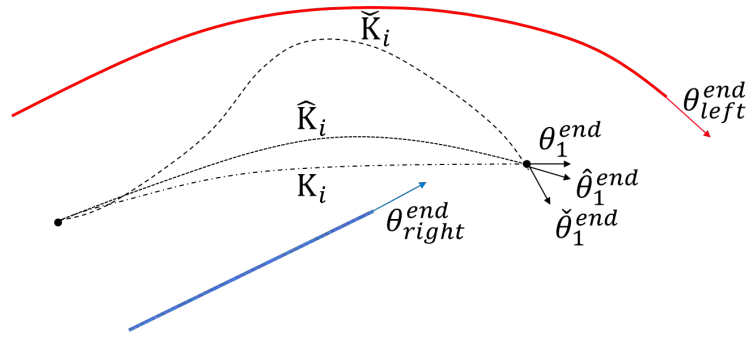
$$\theta_1 = \frac{\theta_{bal}^{vég} + \theta_{jobb}^{vég}}{2} \quad (4)$$

Ahol:

$$\theta_{bal}^{vég} = \frac{y_{bal}^{vég} - y_{bal}^{vég-1}}{x_{bal}^{vég} - x_{bal}^{vég-1}}$$
$$\theta_{jobb}^{vég} = \frac{y_{jobb}^{vég} - y_{jobb}^{vég-1}}{x_{jobb}^{vég} - x_{jobb}^{vég-1}} \quad (5)$$

Második lépésként a végorientációt növelhetjük egy szorzótényezővel. Ennek a tényezőnek az alapértéke 1. Amennyiben a sávszél hosszok nagyon rövidek, akár mindkét szélén, akár az ív belső ívén, a kimeneti orientáció túl alacsony lesz, ez nagy trajektória sugarakhoz vezet és így akár kanyarlevágás jellegű viselkedést is eredményezhet a tervezett trajektória. Hogyha ezt a szorzótényezőt növeljük (pl. 1.3-1.5 értékre a szimuláció alapján), a kanyar levágás valószínűsége csökken, a tervezett trajektória pontosabban követi le a kanyar középívét. Amennyiben túlságosan is megnöveljük ezt a tényezőt, az teljesíthetetlen trajektóriákhoz vezethet.

Az 1. ábra szemlélteti a végorientáció növelésének hatásait. \hat{K}_i görbe esetén optimális a végorientáció megválasztása: csökkentti a kanyarlevágás mértékét K_i görbéhez viszonyítva. A végorientáció növelése túlságosan nagymértékben a \check{K}_i görbéhez hasonló teljesíthetetlen trajektóriákhoz vezet.



1. ábra: Végorientációs szorzó tényező hatása: a mesterségesen megnövelt végorientáció nagy görbületű trajektóriát eredményez és ezzel csökkenti a kanyarlevágás valószínűségét

Trajektória szűrés Kibővített Kálmán-szűrővel

A tervezett trajektóriára egy szűrőt alkalmazunk, hogy csökkentsük a nem megfelelő sávszélinformációból és a görbeillesztésből származó bizonytalanságokat. A Kálmán-szűrők nagy múltra tekintenek vissza az állapotbecslés területén. Ebben a cikkben nem célunk a pontos hátterét bemutatni a szűrőnek. Egy rövid összefoglaló és a megvalósítással kapcsolatos okfejtések megtalálhatók [4]-ben. Ebben a fejezetben a sávmodellt vezetjük be [3] szerint. A növekvő számú kormányasszisztens rendszerekkel a sávinformációk szűrése Kálmán-szűrőkkel is egyre nagyobb teret kap. [5] és [3] esetében a sávszéleket klotoid görbékkel írjuk le, ahol figyelembe vesszük a jármű kinematikai állapotát. Mindkét megvalósítás Kibővített Kálmán-szűrőt használ a referencia vonal stabilizálására. Jelen cikkben mi is a [3] szerinti sávmodell használatát használjuk azzal a fontos különbséggel, hogy a modellt a tervezett trajektóriára, nem a sávszél görbékre írjuk fel. A szűrő implementálása után a legfontosabb feladat a mérés és a modell kovariancia mátrixainak meghatározása, mely a legtöbb esetben nagy kihívás elé állítja a mérnököket, mert a modellünket terhelő zaj meghatározása nehéz. A cikkben bemutatott algoritmust alapkálibrációval láttuk el szimulációs tesztek alapján. Az optimális kalibráció elvégzése a következő kutatási időszakunk témája.

Útvonal modell

Az útvonal modelljét a (6) szerinti alakban írjuk fel, kihasználva a klotoid korábban bevezetett tulajdonságait.

$$f(x_{k-1}, t_k, t_{k-1}, u_k) = \left[d_y + \Delta t v_y + 0.5 \Delta t^2 a_y v_y + \Delta t a_y a_y \theta + \Delta t \omega \omega c_0 + \Delta t v \cos(\theta) c_1 c_1 l - \Delta t v \cos(\theta) \right] \quad (6)$$

Ahol:

- $[d_y v_y a_y]^T$ trajektória oldalirányú translációs mozgásállapota, úgymint pozíció, sebesség és gyorsulás,
- $[\theta \omega]^T$ trajektória oldalirányú rotációs mozgásállapota, orientáció és szögsebesség,
- $[c_0 c_1 L]^T$ a klotoid görbe paraméterei, mint kezdeti görbület, görbület gradiens és görbe hossz,
- v a jármű hosszirányú sebessége,
- $\Delta t = t_k - t_{k-1}$ a diszkrét időlépésköz,
- $u = [a_y \omega]^T$ a bemeneti vektor.

Minden mennyiséget a járműhöz rendelt lokális koordináta-rendszerben értelmezünk. A rendszer Jacobi-mátrixát az átviteli függvény alapján (7) szerint határozzuk meg.

$$A_k = \frac{\partial f}{\partial x}(x = x_k) \quad (7)$$

Ahol:

- $x = [d_y v_y \theta c_0 c_1 L]^T$ az állapot vektor.

A rendszer állapottér modellje így a következő:

$$\begin{aligned} x_k &= A_k x_{k-1} + B_k u_k \\ z_k &= C_k x_k \end{aligned} \quad (8)$$

Ahol:

- A_k a rendszermátrix,
- $B_k = \frac{\partial f}{\partial u}(u = u_k)$ a bemeneti mátrix,
- C_k a kimeneti mátrix,
- $z_k = [d_y c_0 c_1 L]^T$ a kimeneti vektor.

A szűrő kovariancia mátrixai

A mérés kovarianciamátrix elemei a megfigyelt értékek kovarianciái. Minden egyes elemet a mérés bizonytalansága alapján kalibrálunk, viszont bizonyos megfontolások alapján tehetünk egyszerűsítéseket. Kezdeti kalibrációnk feltételezi, hogy minden megfigyelt mennyiség egymástól statisztikai értelemben kölcsönösen független. Ez a (9) szerinti kovarianciamátrixot eredményezi.

$$R_w = \begin{bmatrix} \sigma_{dym}^2 & 0 & 0 & \sigma_{c0m}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{c1m}^2 & 0 & 0 & \sigma_L^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

A modell kovarianciamátrix elemeit általában nehéz meghatározni. Első megközelítésben ezt a mátrixot is egyszerűsítjük úgy, hogy elhagyjuk a kovarianciát a rendszer bizonyos részei között. Ezek a részek a trajektória translációs és rotációs kinematikája és a klotoid görbe modellje, így a (10) szerinti kovarianciamátrix alakot kapjuk.

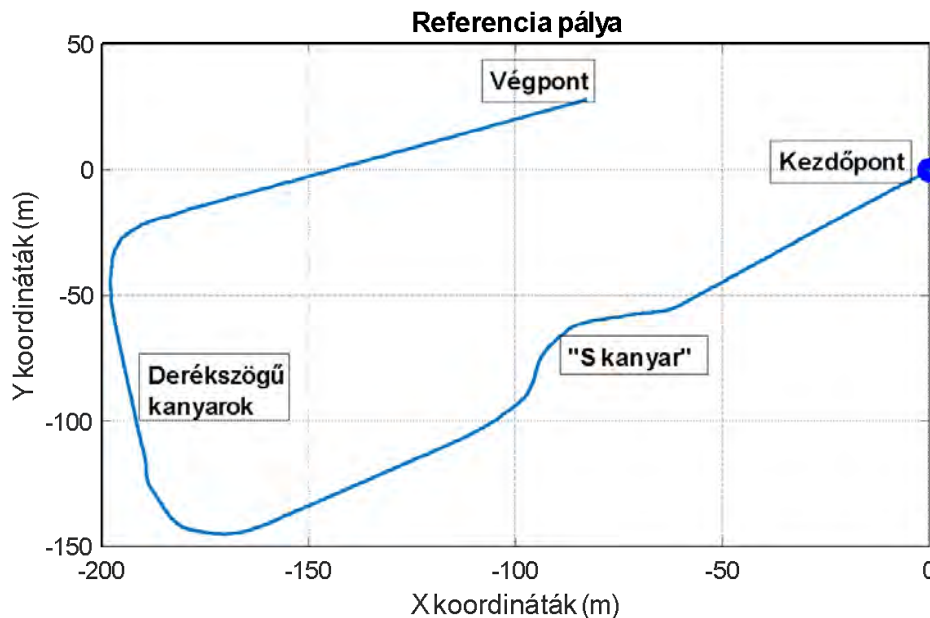
$$R_Q = \begin{bmatrix} s_{dy,dy} & s_{vy,dy} & s_{vy,dy} & s_{vy,vy} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{\theta,\theta} & 0 & 0 & s_{c0,c0} & 0 & 0 & s_{c0,c1} & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{c0,c1} & 0 & s_{c1,c1} & 0 & 0 & s_{L,L} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Ahol a kovariancia értékeket kalibrálni kell.

A következő fejezetben empirikusan megválasztott alapkalkibráció mellett szimulációs eredményeket mutatjuk be az 1. táblázat indikátorai alapján.

Eredmények

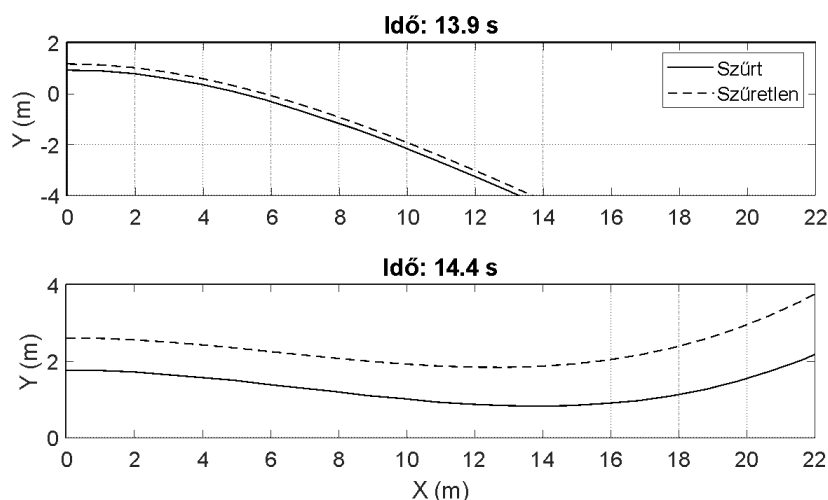
Az algoritmust szimulációban próbáltuk ki, ahol a különböző kanyarokat és egyeneseket tartalmazó referenciapályát használtuk, melynek alakját a 2. ábra mutatja.



2. ábra: a referencia pálya alakja - a jármű állóhelyzetből indul (kék pont, [0;0]) és a pálya végéig halad. A járművet kézzel irányítottuk.

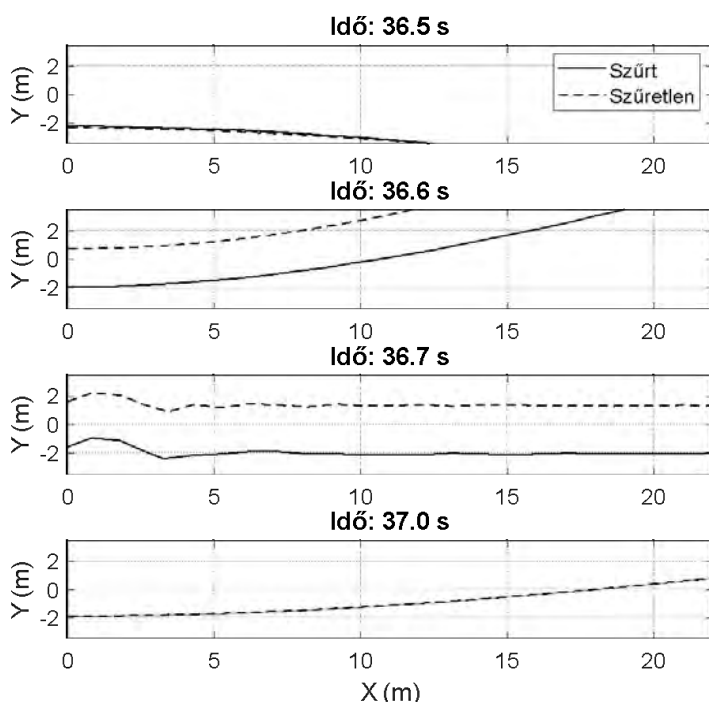
Először az algoritmus teljesítményét manuálisan értékeljük a megfigyelések alapján. Az alapkálibrációt empirikus eredmények alapján határoztuk meg. A megfigyelések alapján a manőver kritikus pontjai a következők:

- Inicializációs (1. rész): a szűrő paraméterei befolyásolják a szűrő kimenetének beállítását, amíg a jármű állóhelyzetben van, a tervezett trajektória szűrése nem megfelelő; amint a jármű elindul, a szűrő azonnal beáll.
- Egymásba fűződő kanyarok különböző irányokkal (2. rész): mivel a pálya szélét magas terelő falak határolják, az érzékelés nem képes időben információt szolgáltatni a következő kanyarok ívéről. Például, amikor a jármű először jobbra fordul és ezután a következő kanyar balra mutat, ugrások jelennek meg a trajektória végfeltételeiben, amikor az érzékelés már rálát a kanyar kijáratára. Erre példát láthatunk a 3. ábra szerint.



3. ábra: a tervező viselkedése egymást követő kanyarokban

- Összefűzött kanyarok esetén a görbe kezdőfeltételei is nagyban változhatnak egymást követő időlépésekben. Ilyen esetekben a trajektória első pontjai, amelyek a legrelevánsabbak a lekövető szabályzás szempontjából szintén nagy ugrásokat tartalmazhatnak. A 3. ábra szemlélteti ilyen esetekben hogyan alakul a szűretlen és a szűrt trajektória alakja. 13.9 s időpillanatban mindkét trajektória jobbra mutat, a kezdőpontok megegyeznek. 14.4 s időpillanatban a szűretlen görbe kezdőpontja nagyjából 2.5 – 3.0 m távolságot ugrik, míg a szűrt görbe ezt lassan követi le – még mindig nagyjából 1.5 – 2.0 m oldalirányú távolságból indul.



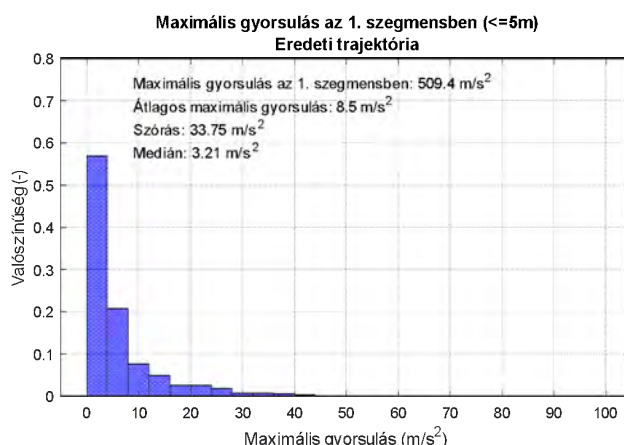
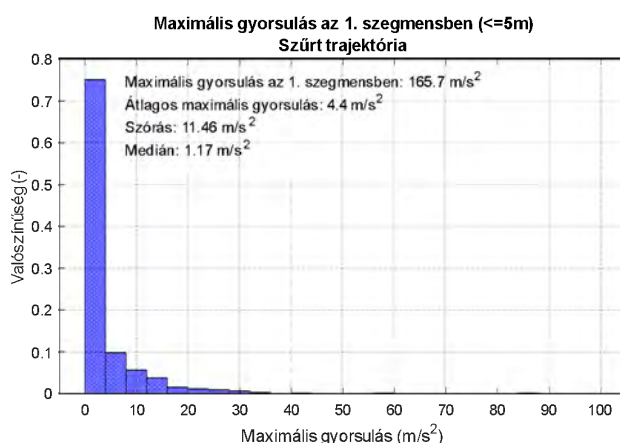
4. ábra: szűrt és szűretlen trajektóriák nem megfelelő bemenet esetén

- A 3. részben a jármű egy éles kanyaron keresztül halad. A tervezett trajektória leköveti a kanyarívet kanyarodás közben, ugyanakkor a kanyar kimenete esetén a jármű túl közel hajt a külső kanyarívhez, ami a jobb oldali sávszél nem megfelelő érzékelését okozza és ezáltal a tervező kimenete is szétesik. 36.6 s időpillanatban az utolsó még megfelelő trajektóriát tervezzük meg. 36.7 s időpillanatban egy nem megfelelő trajektóriát tervezünk, 36.8 s-nál a trajektória szétesik. A szűrt trajektória kezdőpontja ugyanakkor nem változik érdemben. A legutolsó érvényes trajektóriánk kezdőpontja nagyjából 2.0 méteres oldalirányú távolságban volt. 36.7 – 37.0 s között a szűrt trajektória továbbra is ebből a pontból indul ki, ugyanakkor a szűrés utáni görbület és görbület gradiens érték hasonlóan rossz értékeket mutat, mint az eredeti trajektória. Ez bizonyosan a kovarianciaértékek nem megfelelő választására utalnak. A 3. részről szóló összehasonlítást a 4. ábra mutatja.

- A 4. részben egy másik éles jobb kanyar következik. Az érzékelés végig megbízható marad. Ebben az esetben, mind a szűrt ésmind a szűretlen trajektóriák stabilak maradnak.
- Az 5. részben egy hosszú, egyenes szakaszon haladunk, szinte teljesen zérus görbület mellett. A szűrt és a szűretlen trajektóriák itt is megegyeznek, mindkettő stabil. A manőver teljes megállással végződik.

Statisztikai eredmények

A szűrő viselkedésének manuális kiértékelése és a szűrő alapkálibrációjának kiválasztása után elvégezzük a szűrő statisztikai kiértékelését az 1. táblázat szerint. A szimulációs eredményeket a kiértékelő szkripteknek adjuk át, amely kiszámolja az indikátorokat és diagramokat gyárt. A legfontosabb diagramokat a következőkben részletezzük.



5. ábra: a maximális trajektória gyorsulások összehasonlítása az 1. szegmensben - az 1. szegmens a járműhöz közel eső pontok 5 méter alatt

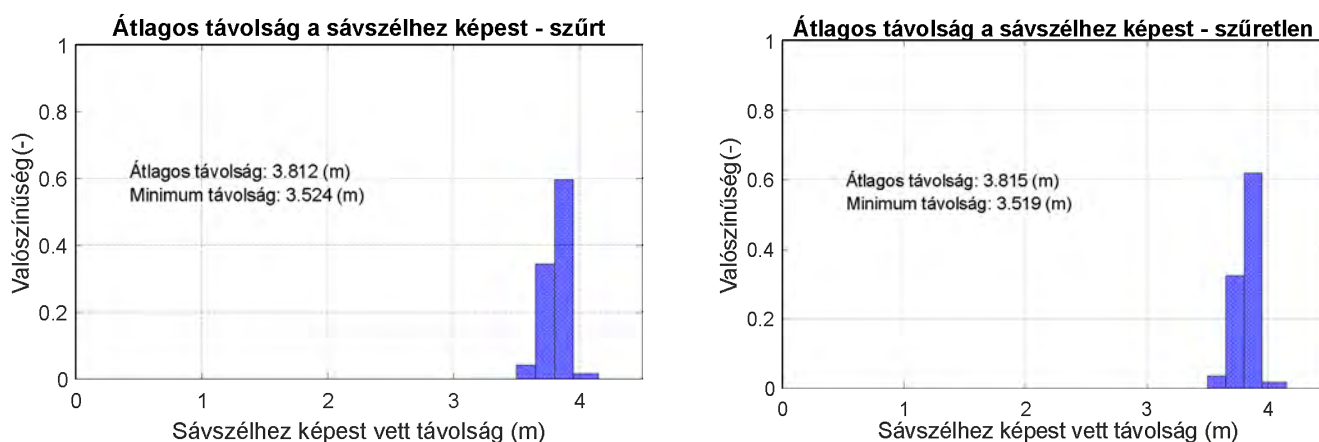
Maximális gyorsulás – szegmens 1.

Az 5. ábra mutatja a maximális trajektória gyorsulásokat az 5 méter alatti trajektória pontokra. A pontok oldalirányú gyorsulását kiszámoljuk, aztán ezen gyorsulások maximumát vesszük. Az egész manőverre nézve annyi gyorsulás pontot kapunk, amennyi időlépés telt el a manőver eleje és vége között. Ezt a kimenetet, egy hisztogramot ábrázoljuk. Látható, hogy a szűrt trajektória maximális gyorsulás várható értéke nagyjából 50%-a a szűretlen trajektóriának. A medián $1.1716 \frac{m}{s^2}$ a szűrés után, míg $3.2081 \frac{m}{s^2}$ az eredeti trajektória esetében.

A szórása a szűrt trajektória gyorsulásainak – ami összeköthető a tervezés stabilitásával – nagyjából az egyharmada a szűretlenének. Általában véve a szűrés után a trajektória 1. szegmense stabilabb, mint a szűretlen trajektória esetében.

Minimális távolság a sávszélekhez

Az indikátor megmutatja, mennyire kerül közel a tervezett trajektória a szabad terület széleihez. Önmagában nem ad teljes képet ez az indikátor a biztonsági követelmények teljesüléséről. Ez azt jelenti, hogy míg mondjuk az átlagos sávszél közelség jó értéket mutat, némely szituációban a trajektória megsértheti a sávszéleket. Ezt az indikátort később mutatjuk be. A 6. ábra mutatja a szűrt és szűretlen trajektória összehasonlítását, a sávszélekhez vett átlagos távolság alapján. Minden egyes trajektória pontra kiszámítjuk ezt a mennyiséget. Az adott pontból merőlegest vetítünk a sávszélre. Ezen egyenes és a sávszél metszéspontjának a távolságát számítjuk ki. Ezeket a távolságokat végül átlagoljuk az adott trajektóriára.



6. ábra: sávszélekhez vett átlagos távolság

Ahogy a 6. ábra szerinti hisztogramot látjuk, nincs szignifikáns különbség a szűrtlen és szűrt trajektória között. A pálya névleges szélessége 7 méter, ami optimális esetben mindig 3.5 méter távolságot kellene, hogy jelentsen a trajektória pontokra nézve. Mindkét esetben az átlagos távolság nagyjából 3.8 méter.

Ez elfogadható, hiszen kanyarokban a pálya lehet szélesebb, illetve a pálya nem tökéletes pontossággal van a szimulációban felépítve, ez azt jelenti, hogy a terelőelemek egymástól távolabb is lehetnek, amellyel a valóságban is jelenlévő pontatlanságot szeretnénk modellezni. A minimális távolság mindkét esetben nagyjából 3.5 méter, ami azt jelenti, hogy a tervező stabilan működik.

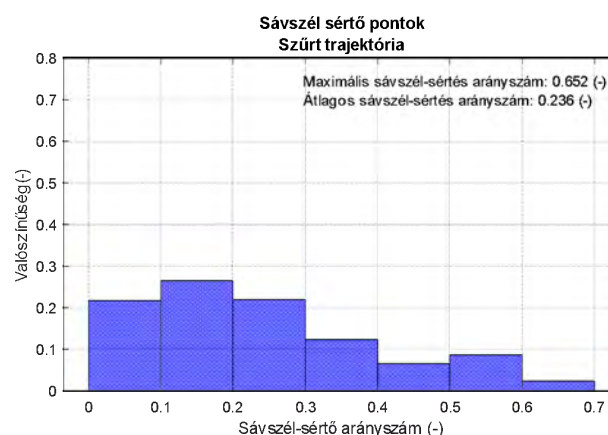
Biztonsági követelményekkel kapcsolatos indikátorok

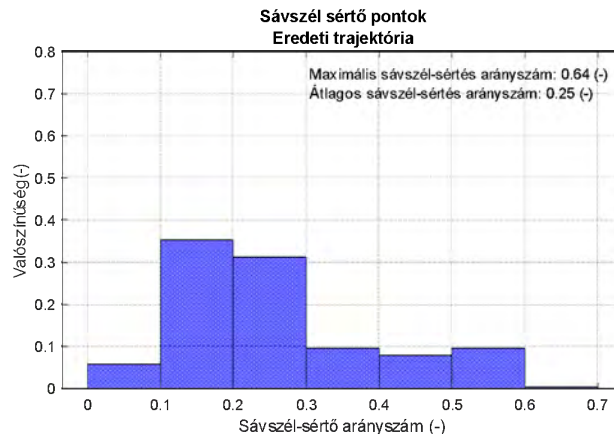
Az indikátorok leírják, hogy biztonsági szempontból mennyire elfogadható a szűrt trajektória.

Ezt két fő szempont alapján tesszük meg:

- Sávszél sértő pontok aránya: ha a sávszélt megsértjük, meghatározzuk azoknak a pontoknak a számát, amelyek a szabad területen kívül esnek és viszonyítjuk a trajektória pontok összes számához.
- Pontok túl közel a sávszélhez: azon trajektória pontok száma az összes trajektória ponthoz viszonyítva, amelyek közel ($<0.25\text{m}$) esnek a sávszélekhez.

A jövőben pontos követelményeket fogalmazunk meg felhasználva ezeket az indikátorokat. Ezeket a biztonsági követelményeket minden megtervezett trajektóriának teljesítenie kell, így ezeket az indikátorokat felhasználhatjuk a trajektóriák minőségének számszerű leírására vagy akár egy biztonsági limiter funkció megvalósításához.





7. ábra: sávszél sértő pontok aránya

A 7. ábra mutatja a trajektóriák sávszélsértő pont arányát. A szűrt és a szűretlen trajektória között nagyon kevés különbséget láthatunk csak.

A szűrt trajektória átlagos sávszél sértő arányszáma 1.5%-kal kisebb, mint a szűretlené, ez azt jelenti, hogy a szűrt trajektória általában véve jobban a szabad területen belül fut, mint a szűretlen, ugyanakkor a maximális sávszél sértés magasabb a szűrt trajektória esetében, ami ezt jelenti, vannak olyan kritikus helyzetek, amikor a szűréssel olyan trajektóriát kapunk, ami a sáv szélein kívül esik. Ez eredhet a szűrt trajektória nagyobb csillapításából, azaz például egy kanyarív kezdetén a szűrt trajektória csak nagyon lassan követi le a görbület megváltozását és így sértheti a szabad területet.

Összefoglalás

Vannak olyan indikátorok, amelyeket eddig nem részleteztünk. Ezekről egy összefoglalást ad a 2. táblázat. Ahogy láthatjuk, van különbség a szűrt és a szűretlen trajektória között, de ezek csak kis eltérések. Ha azonban az 1. szegmensről szóló indikátorokat nézzük, egyértelmű javulás látható a szűrés után, ez egy nagy előrelépés, hiszen ez a szegmens a legfontosabb a lekövető szabályzó szempontjából. A hirtelen ugrások és ezzel együtt a sávszél sértések egy jól kalibrált szűrővel megszüntethetőek. Ugyanez érvényes a görbület gradiensre. A továbbiakban az optimális kalibráció megtalálása lesz kutatásunk fő célja.

	Szűrt trajektória	Szűretlen trajektória
Átlagos távolság sávszéltől	3.812 m	3.815 m
Minimum távolság sávszéltől	1.816 m	2.007 m
Átlagos trajektória gyorsulás	15.614 m/s ²	15.242 m/s ²
Átlagos trajektória gyorsulás az 1. szegmensben	4.351 m/s ²	8.497 m/s ²
Medián trajektória gyorsulás az 1. szegmensben	1.172 m/s ²	3.208 m/s ²
Átlagos maximum trajektória gyorsulás	41.920 m/s ²	31.417 m/s ²
Maximális görbület gradiens	35.431 1/ms	35.446 1/ms
Sávszélhez közel eső pontok aránya	6.003 %	6.518 %
Átlagos sávszél sértés	23.584 %	25.18

2. táblázat: összefoglaló az indikátorokról

Konklúzió és kitekintés

Ebben a cikkben bemutatunk egy sajátfejlesztésű lokális trajektória tervező algoritmust. A trajektória diszkrét pontokból áll, amelyek megadják a célpozíciót, célorientációt és hosszirányú sebességet. A trajektória egy klotoid görbe, amelyet aztán egy Kibővített Kálmán-szűrővel szűrünk. A szűrőt empirikusan kalibráltuk manuális kiértékelés után, statisztikai alapon. Az indikátorokat úgy definiáltuk, hogy lefedjék a legfontosabb trajektória tulajdonságokat. Az eredmények azt mutatják, hogy alapvetően jó viselkedést mutat a tervező, amelyet a szűrővel némileg tovább javítottunk.

A következő kutatási időszakban szeretnénk egy átfogó kalibrációs keretrendszert létrehozni, ahol automatikusan tudjuk kalibrálni a szűrő kovariancia mátrixait, emellett analitikus megoldásokat is keresünk a kalibrációra. Kiindulásként szeretnénk egy iteratív megközelítést alkalmazni, ahol kihasználjuk a Cramer-Rao határértéket, hogy megtaláljuk a szűrő optimális működését. Régebbi megoldásokat, mint pl. Mehra [7] módszere is alkalmazunk, hogy a megfigyelés hibája alapján tudjuk bekalibrálni a szűrőt. Ezeket a megközelítéseket szeretnénk összevetni a cikkben bemutatott indikátorok segítségével bekalibrált rendszerhez. Mivel az algoritmust több helyen is szeretnénk alkalmazni, így további biztonsági funkciókat készítünk.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a Tématerületi Kiválósági Program 2020 keretein belül a „Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1 D. H. Douglas and T. K. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points] required to represent a digitized line or its caricature," *Cartographica: the international journal for geographic information and geovisualization*, vol. 10, no. 2, pp. 112-122, 1973.
- [2 E. Bertolazzi and M. Frego, "G1 Fitting with Clothoids," *Wiley Online Library*, 7 March] 2014.
- [3 C. Gackstatter, T. Sven , P. Dr. Heinemann and G. Prof. Klinker, "Stable Road Lane Model] Based on Clothoids," in *Advanced Microsystems for Automotive Applications*, Springer, 2010, pp. 133-143.
- [4 R. Kleinbauer, "Kalman Filtering Implementation with Matlab," University Stuttgart] Institute of Geodasy, Helsinki, 2004.
- [5 J. Xiao, L. Luo, Y. Yao, W. Zou and R. Klette, "Lane Detection Based on Road Module and] Extended Kalman Filter," 2018.
- [6 M. M. Shyam, N. Naren, R. O. Gemson and M. Ananthasayanam, "Introduction to the] Kalman Filter and Tuning its Statistics for Near Optimal Estimates and Cramer Rao Bound," Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology, Kanpur, 2015.
- [7 M. K. Raman, "On the Identification of Variances and Adaptive Kalman Filtering," in] *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1970.
- [8 C. Cuadras, "On the Covariance between Functions," *Journal of Multivariate Analysis*, pp.] 19-27, 2002.

Energiahatékony versenyjármű irányítási rendszerének fejlesztése

Kecskeméti István^a

^a Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Manapság az autóverseny sportokban egyre több helyen jelennek meg olyan asszisztens rendszerek, amelyek a pilóta helyett döntenek adott szituációkban a jármű irányításáról. Esetünkben egy olyan energiahatékony versenyjárműről van szó, ahol a biztonságkritikus funkciók mellett az optimális energiafelhasználáson van a hangsúly. Erre a célra fejlesztettem ki egy olyan alkalmazást, amely képes a járművön található szenzoradatok feldolgozására, a járművezető által választott paraméterek alapján a jármű irányítására és az adatok kijelzésére. A jármű optimális irányításához szükséges paraméterek be vannak építve a rendszerbe, ezeknek a használatáról a pilóta dönt. Sajnos ezek a kiszámolt értékek nem mindig illeszkednek a valós működéshez, ezért a rendszerben biztosítani kell a fizikai rendszer és a pilóta védelmét. A sofőr bármikor felülírhatja a számítógép döntését.

Kulcsszavak: energiahatékony, járműirányítás, optimalizálás

Abstract: Nowadays, in motorsports it is common practice to use driver aid systems that decide on vehicle settings in specific situations instead of the pilot. In our case, it is about controlling an energy-efficient racing vehicle where the focus is on safety functions and optimal operation. To this end, I have developed an application capable of processing the sensor data in the car, controlling the vehicle based on the parameters selected by the pilot, and displaying all the data. The parameters required for optimal control of the vehicle are pre-implemented in the system, the use of which is decided by the pilot. Unfortunately, these calculated values do not always cover the actual operation, so the protection of the physical system and the pilot must be ensured in the system. The driver can override the computers decision at any time.

Keywords: energy efficient, vehicle control, optimization

Bevezetés

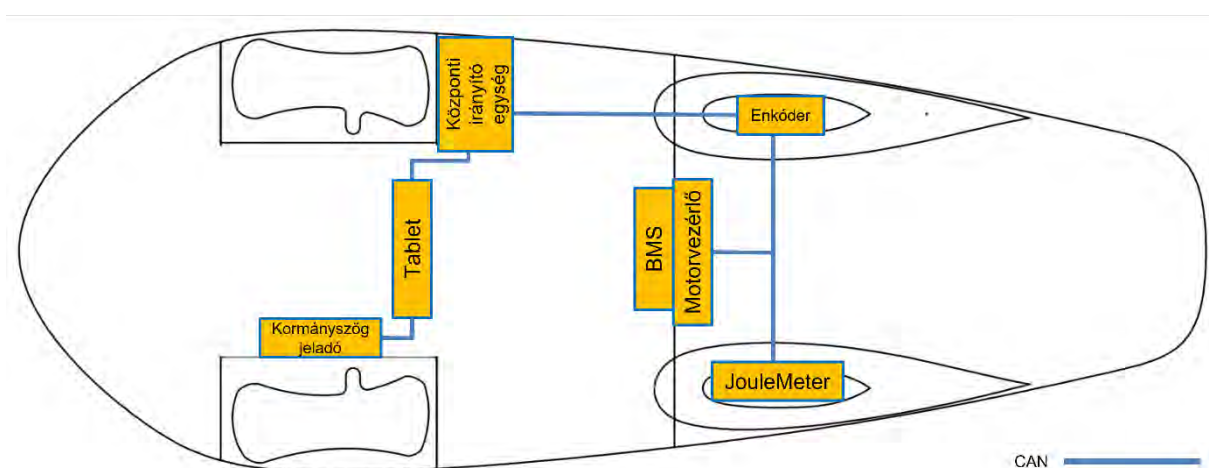
A SZEnergy Team a 2021-es versenyszezonban nem vett részt hivatalos Shell versenyen a járványhelyzet miatt, ezért a csapat az egész évet a SZEmission versenyautó fejlesztésére szánta. Mind gépészeti, mind elektronikai szempontból sokat fejlődött az autó, ezeknek a változtatásoknak a hatásosságát a szezon végén egy többnapos tesztelésen mértük fel a ZalaZone Járműipari Tesztpályán.

A szezonvégi teszteken a versenyautó pontos megismerése volt a cél, ezért olyan méréseket állítottunk össze, ahol pontosan meg tudtuk határozni az autó menetellenállását egyenesben és kanyarodás közben, a hajtáslánc hatékonyságát és az elektronikai rendszer megbízhatóságát. Több versenyszimulációt is futtattunk, ahol a járművezető különböző hajtáskonfigurációkat és módszereket használt.

Járműtelemetria rendszer felépítése

Az elektronikai rendszer fejlesztése során az energiaminimumra és a könnyű használatra törekedtünk, ezért minden eszköz, amely az autó működtetéséhez elengedhetetlen, CAN hálózaton kommunikál (lásd 1. ábra). A járművezető előtt található egy tablet, amelyen a telemetria szoftver fut, ennek feladata az összes bejövő adat feldolgozása és kijelzése.

A továbbiakban minden megvalósított járműfunkció a telemetria szoftverbe lett beépítve.



1. ábra: A SZEmission versenyjármű CAN hálózata

Járműfunkciók

Hajtás állapotai

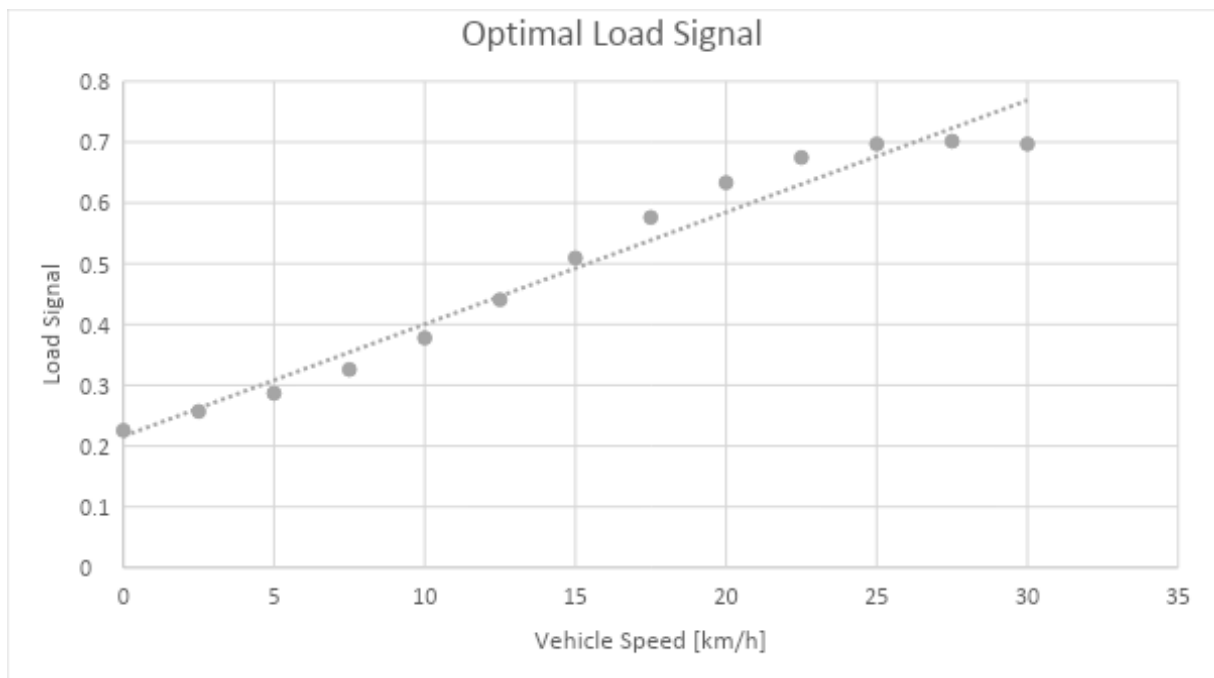
A versenyautó hajtás szempontjából hat különböző állapotba tud belépni:

- Neutral: az autó szabadon gurul, a motorvezérlő alvó módban van
- Drive Pilot: a pilóta manuálisan adja meg a gázreferenciát a gázpedál segítségével, az autó előre hajt
- Reverse Pilot: a pilóta manuálisan adja meg a gázreferenciát a gázpedál segítségével, az autó hátrafele hajt
- Automatic Acc: a pilóta gombnyomással ad gázt, a szoftver kiszámítja a járműsebesség alapján az optimális referenciát, az autó előre hajt
- Automatic Dec: a pilóta gombnyomással fékez, a szoftver kiszámítja a járműsebesség alapján az optimális referenciát
- Speed Control: az autó a megadott sebességreferenciát tartja egy szabályozó segítségével.

Az állapotok a fenti sorrend szerint vannak prioritásba rendezve, így a pilóta bármikor át tudja venni az irányítást a jármű felett vagy lekapcsolni a hajtást. Minden állapothoz több különböző feltétel tartozik, ezeket a pilóta tudja megadni a fedélzeten található kapcsolókkal.

Optimális hajtás

Egy teljes versenytávot nézve a legnagyobb fogyasztó az autóban a hajtáslánc, ezért ennek az optimális irányítása az egyik legfontosabb feladat. Az optimális működéshez a hajtáskonfigurációt fékpadon kellett kimérni, ahol meg lettek határozva a villamosgép legnagyobb hatásfokú munkapontjai [1]. A mérési eredmények alapján egy olyan gyorsítási görbe lett meghatározva (lásd 2. ábra), amely a jármű sebességétől (vízszintes tengely) függően adja ki a megfelelő referencia százalékot (függőleges tengely).



2. ábra: Optimális gyorsítási görbe

Az optimalizált gyorsításhoz és lassításhoz különböző görbék társulnak, illetve, ha a hajtásláncban valamilyen változás történik, legyen az áttételcsere vagy másik villamosgép, a teljes mérést meg kell ismételni.

Sebességszabályozó

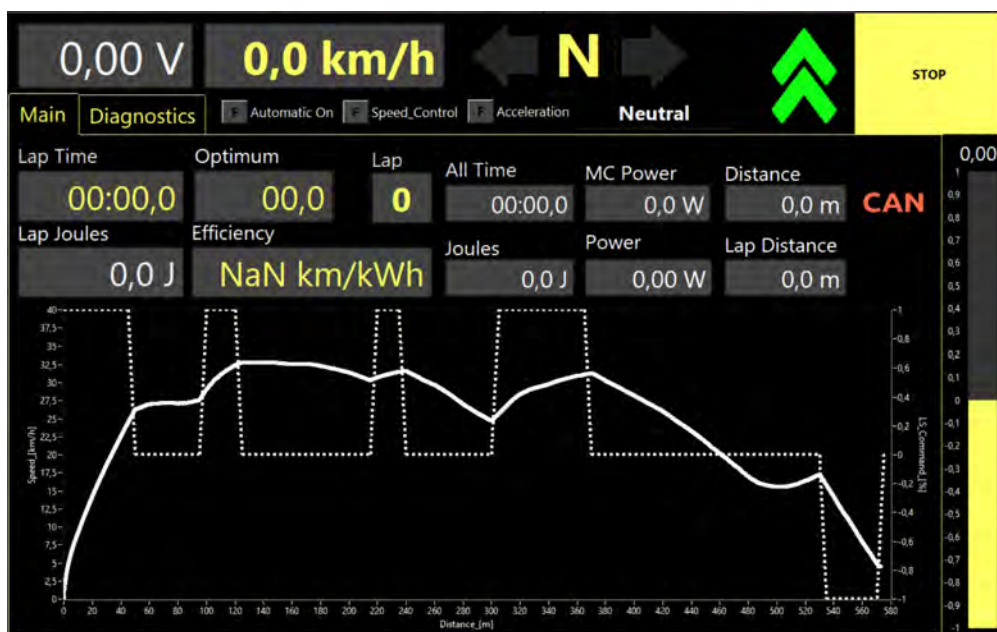
A kanyarodás közben fellépő menetellenállás kiméréséhez szükséges a járművet adott sebességen tartani, ezért egy sebességszabályozót illesztettem a rendszerbe. Ebben a módban egy PI szabályozó gondoskodik a megfelelő működésről. A kimenet itt le van korlátozva, gyorsításnál a maximum 100%, míg lassításnál 60%. A sebességreferenciát a grafikus kezelőfelületen tudja a pilóta megadni 0 km/h és 35 km/h között. A szabályzó paramétereinek hangolását csak menetközben tudtuk elvégezni, ezért sík úton az autóval több referenciát állítottunk be és vizsgáltuk a statikus hiba mértékét.

Rate Limiter

A hajtásláncban a motor és a tengely között egy szíj viszi át a nyomatékot. Az első tesztelések során hamar kiderült, hogy nagy indítónyomatéknál a szíj képes megugrani, ezzel megsértve a fogakat. A hibának a kiküszöbölésére egy Rate Limiter-t illesztettem be, amely megszabja a gázreferencia értékváltozásának meredekségét. A limiter csak gyorsításnál avatkozik be, mivel lassításnál minél gyorsabban kell reagálnia a rendszernek.

Ideális sebesség grafikon

A versenyszimulációk elvégzése előtt a pályát felmértük egy nagy pontosságú SwiftNav Piksi Multi GNSS modulal, majd a mérési eredmények alapján a pályára egy ideális menetciklust számoltunk ki [2]. Egy körre lebontva a rendszer a megtett távolság alapján megtudja határozni egy lookup táblából (egy táblázatból), hogy éppen milyen sebességgel kell haladnia és ezt a pilótának is kijelzi egy grafikonon és egy LED-del. A pilótának innentől fogva a LED villanásakor kell gázt adni.



3. ábra Grafikus felület, ideális menetciklussal.

Az ábrán látható az a GUI, amit a pilóta lát verseny közben. Felül láthatóak az autó mért értékei: akkumulátor feszültség és jármű sebesség, illetve a hajtás állapota. Lentebb a fontosabb adatok láthatóak: köridő, megtett távolság, elhasznált energia mennyisége. Az alsó felét a felületnek az optimális sebesség görbe foglalja el, ahol a pilóta látja az aktuális és a kiszámolt görbét.

Pozíció számítás

A későbbiekben tervben van egy olyan menetciklus alkalmazása, ahol az autó nem a megtett távolság alapján számolja ki az ideális sebességet és referenciát, hanem mindig az adott pozíció szerint. Az optimalizáló a pozíció adatokat UTM formátumban olvassa be. Az autóban található vevőegység fokokban adja vissza a koordinátákat, ezért az UTM konverziót szoftveren belül kell elvégezni.

Szoftver fejlesztése

A korábban említett járműfunkciókat és a grafikus felületet Labview környezetben készítettem el. A Labview szoftverek kettő részből állnak, egy blokkdiagrammból, amelyben megtalálható az összes művelet, illetve egy grafikus felületből, amelyen a kívánt értékeket lehet megjeleníteni (lásd 3. ábra). A szoftver és a versenyjármű között egy NI USB-8502 CAN interfészillesztő eszköz teremti meg a kapcsolatot.

A szoftver három részből épül fel:

- Inicializálás

Indításkor a program létrehozza a log fájlt és felkonfigurálja a CAN kommunikációt.

- Fő ciklusok:

- o CAN üzenetek beolvasása

A pilóta által megadott bemenetek, a motorvezérlő paraméterezése, a sebességjeladó leolvasása mind CAN üzenetek formájában történik, ezért egy külön ciklus csak az adatok feldolgozására szolgál.

- o Hajtás állapotának meghatározása, adatok számítása, nyomatékreferencia számolása, adatok mentése

A fő ciklusban a funkciók egy szekvenciába rendezve futnak le:

1. Adatok számolása (idő, sebesség, megtett távolság)
2. Hajtás állapotának meghatározása
3. Meghatározott állapot alapján referencia számolása
4. CAN üzenet küldése a motorvezérlőnek
5. Paraméterek írása a log fájlba

- Lezárás

A program leállítás előtt a fellépő hibakódokat kiírja, a log fájlt elmenti és a CAN kommunikációt leállítja.

A Labview környezet lehetővé teszi, hogy a projektfájlokból egy futtatható. exe fájlt generáljunk, így a szoftvert könnyen lehet futtatni bármilyen Windows alapú rendszeren.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a Tématerületi Kiválósági Program 2020 keretein belül a „Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Z. Pusztai and P. Kőrös, “Elektromos hajtásláncok fékpadi méréseinek vizsgálata,” in XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia – OGÉT 2020, 2020, pp. 248–251.

- [2] P. Zoltán, K. Péter, and F. Ferenc, “Vehicle Model for Driving Strategy Optimization of Energy Efficient Lightweight Vehicle,” CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, vol. 88, pp. 385–390, 2021.

A ZalaZONE innovációs ökoszisztéma, mint a technológiai fejlesztések keretrendszere

ZalaZONE: an innovation ecosystem as a framework for technological development

Tóth Csilla^a, Hány András^b

^a Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

^b Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Az innovációs ökoszisztémák kutatásának fontos témaköre az adott ökoszisztéma értelmezése, a rendszer sajátosságainak azonosítása. A szerzők kapcsolódó kutatásai alapján a tudományos összefoglaló célja az elméleti megközelítések alapján tárgyalni az innovációs ökoszisztémák egyes módszertani kérdéseit, a ZalaZONE tudományos és innovációs park példáján keresztül. Ennek során bemutatásra kerül a park ágazati és stakeholder jellege, mint az ökoszisztéma struktúra alapját adó sajátosság. Ezt követően az összeállítás érinti az ökoszisztéma szereplői közötti együttműködés kérdéskörét, majd végül a működési fenntarthatósággal összefüggésben a kidolgozott üzleti keretmodell példaszerű értelmezése következik. A téma tárgyalása eredményeként következtetéseket tesznek a szerzők a ZalaZONE tudományos és innovációs park aktuális állapotára, valamint a további fejlesztési lehetőségekre.

Kulcsszavak: Science Park, innovációs ökoszisztéma, komplex rendszerek, ZalaZONE

Abstract: An important topic of research on innovation ecosystems is the interpretation of the given ecosystem and the identification of the peculiarities of the system. Based on the related research of the authors, the aim of the scientific summary is to discuss some methodological issues of innovation ecosystems based on theoretical approaches, through the example of the ZalaZONE Science and Innovation Park. In doing so, the sectoral and stakeholder nature of the park is presented as a feature that forms the basis of the ecosystem structure. After that, the compilation touches on the issue of cooperation between the actors of the ecosystem, and finally, in the context of operational sustainability, an exemplary interpretation of the developed business framework model follows. As a result of the discussion of the topic, the authors draw conclusions about the current state of the ZalaZONE Science and Innovation Park and the possibilities for further development.

Keywords: Science Park, innovation ecosystem, complex systems, ZalaZONE

Bevezetés

Az elmúlt 15 év során az innovációs ökoszisztémák fogalma népszerűvé vált az egyre szélesedő kapcsolódó kutatások körében (Gomes, et al., 2018), jellemzően üzleti és stratégiai eredettel és fókusszal. Az innovációs ökoszisztéma fogalmának története lényegesen eltér az innovációs rendszer koncepcionális történetétől. A fogalom intenzívebb használata (Adner, 2006) Harvard Business Review cikkének közzététele után indult el, amely kiadvány az innovációs ökoszisztémák valószínűleg legszélesebb körben használt definícióját is tartalmazza. Az innovációs ökoszisztémát „együtműködési megállapodásokként határozza meg, amelyek révén a vállalkozások egyesítik kínálatukat koherens, ügyfélorientált megoldássá”. A koncepció fő gyökerei az üzleti ökoszisztémák kapcsolódó koncepciójában vannak, amelyet (Moore, 1993) és mások használnak. Az innovációs ökoszisztémák empirikus leírása gyakran azonosítja nemcsak az együtműködő, hanem a versengő szereplők fontosságát is (pl. (Rohrbeck, et al., 2009); (Hannah & Eisenhardt, 2018)), valamint a termékek (pl. (Carayannis & Campbell, 2009); (Nambisan & Baron, 2013)), továbbá a versengő technológiák és szabványok fontosságát (Arthur, 1989). Úgy tűnik, hogy az üzleti ökoszisztémák fogalmáról az innovációs ökoszisztémákra való áttérés túlzottan áthelyezhette a hangsúlyt a versenyről az együtműködésre. (Granstrand & Holgersson, 2020) az innovációs ökoszisztémák újfajta definícióját vezeti be publikációjában. Eszerint az innovációs ökoszisztéma a szereplők, tevékenységek és termékek, valamint az intézmények és kapcsolatok, beleértve a kiegészítő és helyettesítő kapcsolatokat is, amelyek fontosak egy szereplő vagy egy szereplő innovatív teljesítménye szempontjából. Ebben a meghatározásban a termékek magukban foglalják a termékeket és szolgáltatásokat, a tárgyi és immateriális erőforrásokat, a technológiai és nem technológiai erőforrásokat, valamint a rendszer egyéb bemeneti és kimeneti típusait, ideértve az innovációkat is. Az innovációs ökoszisztéma más szavakkal tartalmazhat olyan szereplőrendszert, amely együtműködési (kiegészítő) és versenyképes (helyettesítő) kapcsolatokkal rendelkezik, fókuszcéggel vagy anélkül, valamint a termékrendszert, amely kiegészítő és helyettesítő kapcsolatokat tartalmaz. Az innovatív teljesítményt az innovációk vagy az innovativitás helyett inkább azért használják, hogy a kapcsolódó utánpótlást beépítsék a rendszerbe és gazdasági szempontból megkönnyítsék az operacionalizálást és ezzel elkerüljék a körforgást is.

Az innovációs ökoszisztéma megközelítése adja a tudományos és innovációs parkok fogalmi megalapozását. A „Triple Helix” tudásmodell, amelyet (Gomes, et al., 2018) fejlesztett ki, három „hélixet” hangsúlyoz, amelyek összefonódnak az innovációs rendszerben: akadémia/egyetemek, ipar és állam/kormányzat.

Etzkowitz és Leydesdorff az „egyetem, az ipar és a kormány közötti kapcsolatokról” és hálózatokról beszél, különös hangsúlyt fektetve a háromoldalú és a hibrid hálózatokra is, ahol ezek a hélixek átfedik egymást. A Triple Helix modell kiterjesztéseként egyes szerzők (Carayannis & Campbell, 2009) javasolták a „Quadruple Helix” megközelítést. (Katri, 2015) jó áttekintést ad az üzleti, innovációs és tudás-ökoszisztémák eltérő megközelítéseiről. A kutatásai alapján három különböző gazdasági ökoszisztéma-típust különböztetünk meg. Az üzleti ökoszisztémák, valamint a szolgáltatási vagy ipari ökoszisztémák irodalmában kiemelik a gazdasági eredményeket és a szereplők közötti üzleti kapcsolatokat. Az innovációs (öko) rendszerek és a regionális klaszterek tárgyalása olyan mechanizmusokra és politikákra összpontosít, amelyek elősegítik az innovatív startupok létrehozását a regionális központok vagy klaszterek körül. A tudásökoszisztémák legfőbb érdeke és eredménye az új tudás létrehozása közös kutatási munka, együttműködés vagy a tudásbázis fejlesztése révén.

Általánosan elfogadott vélemény, hogy az ökoszisztémák olyan kiegészítő innovációk, termékek vagy szolgáltatások szolgáltatóit követelik meg, akik különböző iparágakhoz tartozhatnak és nem kötelező szerződési megállapodásokhoz kötni őket, de ennek ellenére jelentős kölcsönös függőséggel rendelkeznek. Ebben az értelemben megállapítható, hogy az ökoszisztémák nem illeszkednek a klasszikus cég-beszállító kapcsolatba, a „porter-i” értékrendbe.

Kutatási trendek

A tudás-ökoszisztéma fő eredménye az új tudás, amely úgy alakítható, hogy felhívja a figyelmet azokra a hálózati csomópontokra, ahol a tudás létrejön és megmarad (Quin, et al., 1998). A nyílt forráskódú közösségek jól ismert példák az ilyen típusú ökoszisztémákra a tudáscsere alapján (Koenig, 2012), így a legújabb kutatások azt sugallják, hogy a helymegosztás virtuális közelséget is jelenthet, ezáltal megteremtve a szereplők közötti együttműködés képességét. Engel & del Palacio (2011) innovációs ökoszisztéma-megközelítése szerint a növekedés, az interakció és az innovatív induló vállalkozások létrehozásának előmozdítása az úgynevezett tudásközpontok körül hangsúlyos.

A ZalaZONE három pólusa

I. pólus: a ZalaZONE járműipari tesztpálya

Tekintettel az automatizált vezetési és vezetési asszisztens technológiák növekvő tendenciáira, mind a gyártók, mind a fejlesztők a korlátozott járművizsgálati és -érvényesítési kapacitások kihívásával szembesülnek.

Míg a hagyományos tesztelési lehetőségek kizárólag az OEM-ek számára állnak rendelkezésre, a nyílt tesztpályák többnyire le vannak foglalva. Úgy tűnik továbbá, hogy az európai tesztelési létesítmények nincsenek felkészülve a csúcstechnológiai igényekre a folyamatosan változó környezetben. Egyértelműen nagy a kereslet az élvonalbeli tesztelési környezet iránt a piacon. A legtöbb létesítmény elavult, másoknak teljes kihasználtsággal kell megbirkózniuk. Közülük csak kevesen képesek komplex igényeket kielégíteni az önvezető és automatizált mobilitási megoldások iránt, ahol több funkció is tesztelhető különböző műszaki helyzetekben, biztonságos környezetben.

A ZalaZONE-nal a magyar kormány egy kiemelkedő európai tesztközpontot kívánt létrehozni az autonóm járműfejlesztéssel kapcsolatos ipari és tudományos kutatások számára, így a zalaegerszegi ZalaZONE autóipari tesztelő létesítménye és informatikai környezete (www.zalazone.hu) jelentős piaci rést kezel. A magyar kormány 2016-os döntését a projekt gyors megvalósítása követte. Ennek elérése érdekében a projekt tartalma az élvonalbeli iparági szereplők globális trendekhez illeszkedő szakértői ismereteire és visszajelzéseire alapozva épült fel. A ZalaZONE a zalaegerszegi észak ipari zóna 260 hektáros földterületére irányuló állami beruházás, amelynek feladata volt további K+F vállalkozások és tudományos kutatások bevonása. A zalaegerszegi tesztpálya projekt egyedülálló a klasszikus járműdinamikai tesztek és az autonóm járműfunkciók tesztelési lehetőségei terén. A tesztkörnyezet elsődleges felhasználói a járműipari OEM-ek, Tier1 és Tier2 vállalatok fejlesztési egységei a személygépkocsik, haszongépjárművek, buszszegmensek, valamint a kommunikációs technológiák területén.

A már részben működő tesztpálya multiplációs hatásaként további beruházások valósulnak meg helyben: a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ, K+F projektek, további ipari beruházások a parkban, valamint egy korszerűsítési projekt az ipari park szintről a tudományos park szintjére.

II. pólus: Fejlesztőközpontok bevonása

A fő cél olyan vállalkozások bevonása, amelyek vagy elsősorban fejlesztési láncba illeszkedő tevékenységet folytatnak (mint egy fejlesztő cég) vagy nagy hozzáadott értékű tevékenységekre épül a működésük. 2019-ben az osztrák illetőségű AVL úgy döntött, hogy a fejlesztési kapacitásainak egy részét kiterjeszti és fejlesztőközpontot hoz létre Zalaegerszegen, közvetlenül a ZalaZONE járműipari tesztpálya és a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ szomszédságában. Ennek oka az egyre növekvő tesztelési és validálási igény, valamint a helyi infrastruktúra elérhetősége által nyújtott előnyök.

Mivel az európai tesztpályák nagy többsége elkötelezett valamilyen járműgyártó cég irányába és általánosságban igaz, hogy más tesztpályák nem rendelkeznek ilyen jellegű komplex és fejlett technológiákat is tesztelni tudó felülettel, valamint a ZalaZONE földrajzi elhelyezkedése is optimális, ez jelentős előnyöket kínál egy zalaegerszegi egység működéséhez.

A másik nagy ipari beruházás 2020-ban született, a Rheinmetall védelmi ipari vállalat úgy döntött, hogy Zalaegerszeget választja az új, Magyarországra szállítandó páncélozott gyalogsági jármű flotta megépítésének helyszínéül. A német vállalat szintén a ZalaZONE park területén hozza létre három hektáros gyárcsarnokát és az ehhez tartozó tesztpálya részt is, amely kifejezetten az off-road járművek tesztelésére alkalmas, emellett különböző tesztelési céllal további épületek kerülnek kivitelezésre, ahol a jelenlegi modern technológiák validálására alkalmas tesztek végezhetők el (pl. EMC, klímakamra), nemcsak a Rheinmetall járműveinek részére, hanem más járműipari cégek számára is.

Ezen felül további területek állnak rendelkezésre a jövőben betelepülni szándékozó, a járműiparral, illetve a park fókuszával szoros kapcsolatban lévő cégek számára is.

III. pólus: A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ

A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ a ZalaZONE Tudományos és Innovációs Park első modellszerű eleme, amelynek működése – egyfajta „kismintaként” – leképezi a teljes science park modelljét.

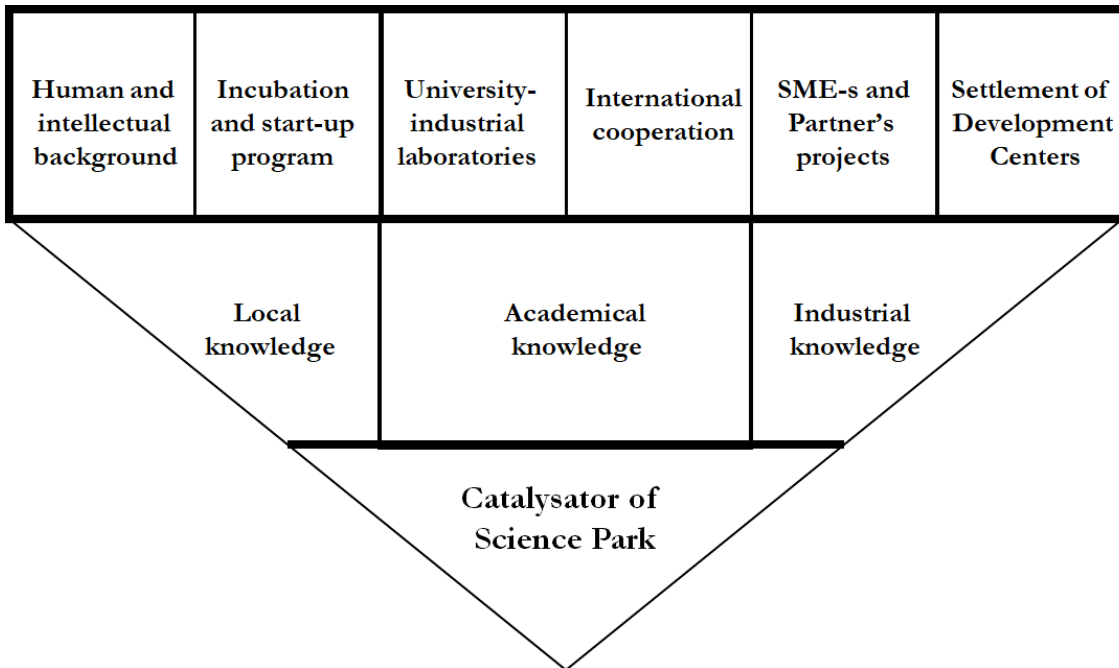
A ZalaZONE Tudományos és Innovációs Park fejlesztésének célja, hogy a zalaegerszegi járműipari tesztpálya környezetében megvalósuló innovációs ökoszisztéma létrejöttét elősegítse, ezzel hozzájárulva a tesztpálya transzlációs hatásának erősítéséhez, valamint a kapcsolódó tudásháttér megerősítéséhez.

A fejlesztés eredményeként a járműipari tesztelési infrastruktúra környezetében letelepülhetnek a parkban kutatás-fejlesztési bázisokat létrehozó egyetemek és egyéb szolgáltatók tudásbázisára építve és ezekkel együttműködésben, kutatás-fejlesztésben és innovációban élen járó vállalkozások. Ezzel kifejlődik az az innovációs ökoszisztéma, amely a kölcsönös szinergiákra építve erősíti a szereplők gazdaságélénkítő szerepét.

Kiemelendő ezért a fejlesztés hatása a térség közvetlen innovációs környezetének teljesítmény-növekedésére, illetve általában a térségi K+F+I kultúra erősödésére, amely nemcsak a tesztpálya nemzetközi versenyképességét erősíti, de a térségi vállalkozások nagy hozzáadott értékű tevékenységeik irányába történő elmozdulását is segíti.

A ZalaZONE Tudományos és Innovációs Park egy olyan komplex fejlesztés, amely térségi szinten valósítja meg az állami, kutatás-fejlesztési és gazdasági szereplők együttműködését. A Tudományos és Innovációs Park az ipari növekedés katalizálójaként, az egész térség gazdasági versenyképességére pozitív hatást gyakorolhat, hiszen a várakozások szerint mindezek további beruházásokat és újfajta tudásbázisokat vonzanak a térségbe. A fejlesztéseknek köszönhetően a zalaegerszegi járműipari tesztpálya környezetében létrejöhetnek térségi gazdaság versenyképességét és tudásalapú fejlődését erősítő újabb és újabb beruházások, projektek és együttműködések.

A parkon belül a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ olyan kutatási, innovációs és oktatási környezetet valósít meg, ahol elsődleges a gyakorlati kimenetek és a gyakorlati tudás megalapozása, a gazdasági, ipari igényeket kielégítő fejlesztések bővítése és a hozzáadott értéket teremtő kutatások. Teret ad a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Széchenyi István Egyetem, a Pannon Egyetem és a Bay Zoltán kutatóintézet járműipari tesztpályához kapcsolódó fejlesztéseinek ezen intézmények helyi kutatóinak elhelyezésével a központban, továbbá lehetőséget biztosít az iparban felmerülő problémák szakszerű megoldásaira globális vezető technológiákat fejlesztő és alkalmazó ipari vállalatokkal szoros együttműködésben. A központ szakemberei és az együttműködő partnerek a járműipar, mechatronika, szoftver- és kommunikációs technológiai fejlesztések, valamint a gépészeti tervezés, gyártástechnológiák és anyagtechnológiák különböző területein adnak kutatás-fejlesztési, innovációs és műszaki szolgáltatási megoldásokat a felmerülő ipari problémákra és kihívásokra.



1. ábra: A ZalaZONE Science Park modellje (Tóth, 2021)

A ZalaZONE modell a kapcsolódó kutatások tükrében

A modell elemei:

- *Fejlesztőközpontok, ipari szereplők:* cél olyan vállalkozások bevonása, amelyek vagy elsősorban fejlesztési láncba illeszkedő tevékenységet folytatnak (mint egy fejlesztő cég) vagy nagy hozzáadott értékű tevékenységekre épül a működésük
- *Egyetemi-ipari laborok:* cél olyan ipari orientációjú kutató laborok bevonása, amelyek szolgáltatási tevékenység mellett kutatási célt is szolgálnak, a tesztpálya infrastruktúrát értékteremtésükhöz fel tudják használni, aktivitásuk a parkon képes túlnyúlni.
- *Inkubációs és start-up program:* cél olyan induló üzleti kezdeményezéseknek helyet adni, amelyek illeszkednek a tudományos és innovációs park ökoszisztémájába és együttműködési rendszerébe.
- *Humán és szellemi háttér megerősítése:* cél biztosítani az ökoszisztéma sikeres működését és az ehhez szükséges humán háttérrel, valamint ennek folyamatos fejlődését.
- *KKV-k és partnerek projektjeihez való kapcsolódás:* cél elősegíteni az ökoszisztéma kisugárzását a térségi, illetve együttműködő KKV hálózatok mentén, inkubációs, tanuló környezet biztosítása, amely támogatja a helyi gazdaság és KKV-k fejlődését a nagy hozzáadott értékű tevékenységek irányába.

- *Nemzetközi együttműködések erősítése:* cél biztosítani a bekapcsolódást a nemzetközi vérkeringésbe, a határon átnyúló, az európai és a globális kutatási, illetve szakmai együttműködésekén keresztül.

A) Ágazati fókuszáltság

A szerzők kapcsolódó kutatásai alapján egy innovációs ökoszisztéma egyik alapvető strukturális jellemzője az ökoszisztéma fókusz ágazatainak köre. Fontos, hogy egy innovációs ökoszisztéma rendelkezzen szakmai fókusszal, ez a tudásalapú építkezés egyik alapvető feltétele. Ugyanakkor, a kooperációs rendszerek szempontjából nem túl előnyös a túlságosan szűkkörű szakmai fókuszáltság, főleg nem az egyetlen szereplő köré épülő rendszer. A vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy egy fókuszált, de a kooperációra teret adó, ám mégis koherens szakmai körben maradó ágazati megoszlás a legelőnyösebb. Az elvi lehetőségeket a 2. ábra, a ZalaZONE parkra értelmezett tevékenységi megoszlást a 3. ábra mutatja, amely tükrözi a közepes mértékű, az optimálishoz közelítő ágazati fókuszot a park jelenlegi szereplői alapján.



2. ábra: Egy innovációs ökoszisztéma lehetséges ágazati fókuszai



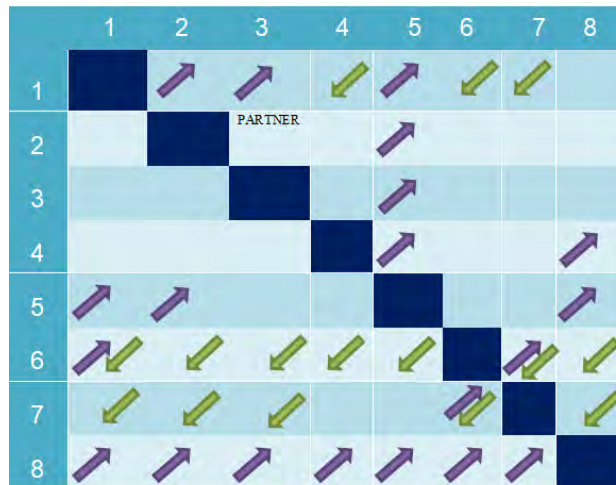
3. ábra: A ZalaZONE Science Park ágazati fókusz

B) Együttműködési kultúra

Az innovációs ökoszisztémák egyik fő jellemzője a szereplők közötti együttműködési képesség, amely lehetővé teszi a szinergikus hatások és kapcsolatok kiaknázását. Az együttműködés egyik alapvető szintje a szereplők közötti vevői és szállítói kapcsolatok köre, amely egy innovációs ökoszisztéma esetén jól felmérhető.

A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központban felmérést készítettünk a központban működő szereplők körében, feltérképezve a köztük levő kapcsolatokat, amely lehet egyirányú (vevői, illetve szállítói), de lehet kétirányú is (időben változó vevői vagy szállítói), továbbá definiálható egy magasabb együttműködési szint is („partner”).

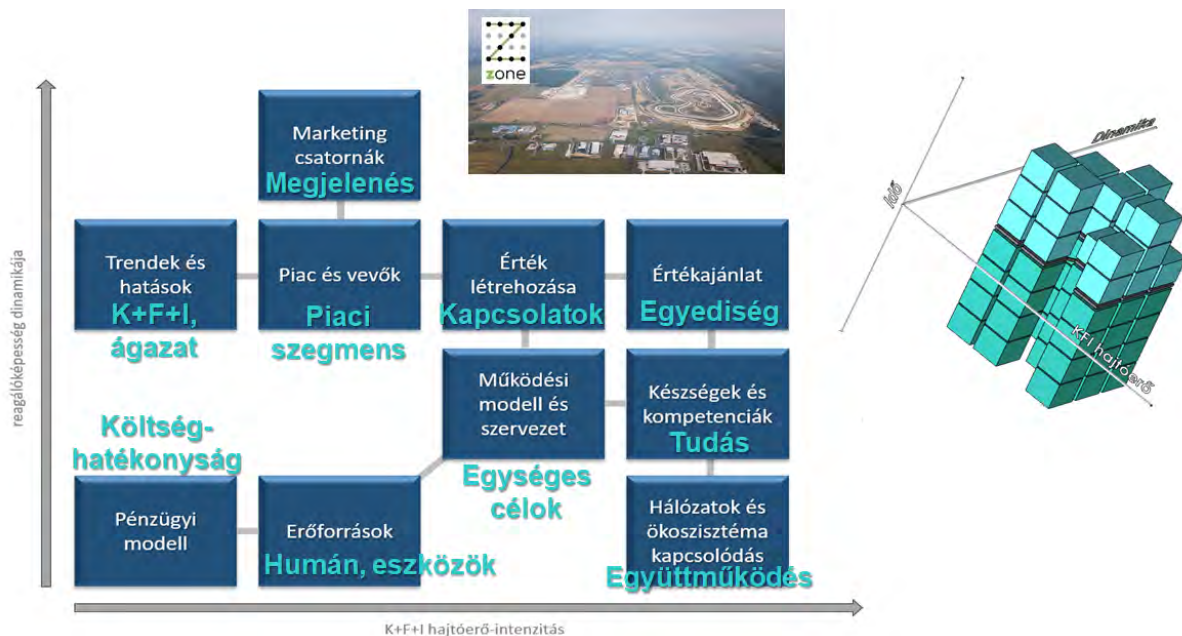
A 4. ábra mutatja a felmérés eredményeit (nyíl jelzi a szállító>>vevő irányt); érzékeltetve, hogy a központ szereplői között tényleges együttműködés van, egyes esetekben ez kétirányú.



4. ábra: A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ szereplői közötti együttműködési rendszer

C) Fenntarthatóság

Egy innovációs ökoszisztéma fenntarthatóságát, egészséges fejlődését meghatározza az értékalapú szemlélet, amelyet le lehet vezetni az üzleti modell megközelítésből. A szerzők kapcsolódó kutatásai alapján a hagyományos üzleti modell nézőpont alapján kidolgozásra került egy tíz elemből álló keretrendszer, amelynek elemei az értékalapú struktúra menedzsment egyes építőköveit jelentik. Az 5. ábrán ennek a ZalaZONE környezetre értelmezett fő kulcsszavai láthatók. A jelen anyag keretei nem teszik lehetővé ezen modell részletes tárgyalását, a cél ugyanakkor, hogy mint a science park ökoszisztéma elemzés fontos eszköze, megemlítsre kerüljön.



5. ábra: Az üzleti keretmodell a science park ökoszisztéma értékalapú fenntarthatósági vizsgálatához

Összegzés, konklúziók

Mindezek alapján egy komplex megközelítésre van szükség és talán a legfontosabb a mindenkori struktúráltság és az együttműködés a science park modell kialakítása során. A ZalaZONE park kialakítása és fejlesztése szorosan épít a kapcsolódó kutatási eredményekre. A projekt során természetesen még számos kérdés felmerül, ezek a jövő kutatásainak eredményei lesznek majd. Jelen cikk célja, hogy összefoglalja a ZalaZONE kutatási és innovációs ökoszisztéma fejlesztésével kapcsolatos kihívások alapján elindított kutatások kezdeti tanulságait. A bevezető részben áttekintést adtunk az innovációs ökoszisztémákkal kapcsolatos néhány kulcsfontosságú kutatás alapján. Bemutatásra került a ZalaZONE park, benne a környezet három fő pólusával. Végül a ZalaZONE tudományos park általános modellje került bevezetésre, amely alkalmas további kutatásokra.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a Tématerületi Kiválósági Program 2020 keretein belül a „Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, 84(4), 98-107.
- [2] Arthur, W. (1989). Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *Economy Journal*, 99(394), 116-131.
- [3] Carayannis, E., & Campbell, D. (2009). 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal Technology Management*, 46(3-4), 201-234.
- [4] Engel, J., & del Palacio, I. (2011). Global Clusters of Innovation: The case of Israel and Silicon Valley. *California Management Review*, 53(2), 27-49.
- [5] Gomes, A., Leonardo, L., Salerno, A., Ikenami, M., & Kazuo, R. (2018). Unpacking the innovation ecosystem construct: evolution, gaps and trends. *Technol. Forecast. Soc. Chang.*(136), 30-48.
- [6] Granstrand, O., & Holgersson, M. (2020). Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. *Technovation*, 90-91, 201098.
- [7] Hannah, D., & Eisenhardt, K. (2018). How firms navigate cooperation and competition in nascent ecosystems. *Strateg. Management Journal*, 39(12), 3163-3192.
- [8] Katri, V. (2015). Business, Innovation, and Knowledge Ecosystems: How They Differ and How to Survive and Thrive within Them. *Technolgy Innovation Management Review*, 5(8), 17-24.
- [9] Kiss, G. (2013). Comparing the IT skills and the programming knowledge of Hungarian students specialized in informatics with Romanian students attending a science course or a mathematics-informatics course. *Teaching Mathematics and Computer Science*, 21-40.
- [10] Koenig, G. (2012). Business Ecosystems Revisited. *Management*, 15(2), 208-224.
- [11] Moore, J. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard Business Review*, 71(3), 75-86.
- [12] Nambisan, S., & Baron, R. (2013). Entrepreneurship in innovation ecosystems: entrepreneurs' self-regulatory processes and their implications for new venture success. *Entrepreneurship Theory Practice*, 37(5), 1071-1097.
- [13] Quinn, J., Anderson, P., & Finkelstein, S. (1998). New Forms of Organizing In H. Mintzberg & J.B. Quinn (Eds.). *Readings in the Strategic Process*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 362-374.

- [14] Rohrbeck, R., Holzle, K., & Gemunden, H. (2009). Opening up for competitive advantage: how Deutsche Telekom creates an open innovation ecosystem. *R. D. Management*, 39(4), 420-430.
- [15] Westhead, P., & Batstone, S. (1998). Independent Technology-based Firms: The Perceived Benefits of a Science Park Location. *Urban Studies*, Vol. 35(No. 12), 2197 - 2219.

Szakirodalmi áttekintés úthibák detektálása témában

Literature review on detecting road failures

Unger Miklós

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Az autonóm járművek elterjedésének egyik legfontosabb eleme, hogy a közlekedésben előforduló eseményeket vagy szituációkat, a járműbe épített rendszer képes legyen önállóan, emberi beavatkozás nélkül megoldani. Az egyik ilyen szituáció az úthibák elkerülése, amely egyrészt fontos a közlekedési balesetek megelőzése, másrészt a járművek állapotának megőrzése szempontjából is. Az úthibák detektálása nemcsak az autonóm járművek szempontjából, hanem minden a közlekedésben résztvevőnek fontos, ezért már a múltban is kifejlesztésre kerültek olyan módszerek, amelyek különböző szenzorok segítségével offline vagy valós idejű úthiba detektálást tettek lehetővé. Ez a cikk egy összefoglalást tesz arról, hogy korábban milyen szenzorok és módszerek segítségével detektáltak úthibákat.

Kulcsszavak: Autonóm járművek, úthibák, detektálás

Abstract: One of the most important elements for the uptake of autonomous vehicles is that the system built into the vehicle should be able to autonomously solve events or situations in traffic without human intervention. One such situation is the avoidance of road failures, which is important both to prevent traffic accidents and to preserve the condition of the vehicles. Road failure detection is not only important for autonomous vehicles, but for all road users, and methods have been developed in the past to detect road failures offline or in real time using different sensors. This article provides a summary of the sensors and methods that have been used to detect road failures in the past.

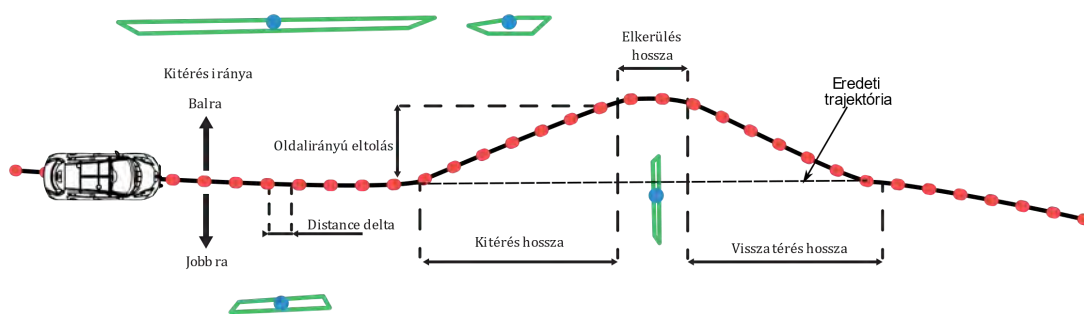
Keywords: Autonomous vehicles, road failures, detection

Bevezetés

Az úthibák detektálása nem csak kényelmi szempontból, hanem biztonsági okok miatt is kiemelt fontosságú a mindennapi közlekedésben. A kisebb – nagyobb úthibák a világ minden táján előfordulnak, az [1] szerint a jellemzően jó minőségű úthálózattal rendelkező Egyesült Államokban az NHTSA felmérései szerint, a mechanikai meghibásodás miatt bekövetkezett balesetek 35%-áért a gumiabroncsok és a kerékekkel (felfüggesztéssel) kapcsolatos problémák voltak felelősek, melyek visszavezethetőek az úton megtalálható kátyúkra, kiemelkedésekre és további útelváltozásra.

Az úthibák detektálása

A doktori témám, amely szorosan kötődik ehhez a kutatáshoz, két részből áll. Egyrészt fel kell ismernünk a jármű körül fellelhető úthibákat, azokat valamilyen módszer szerint osztályozzuk, illetve meg kell határoznunk, hogy az összes úthiba közül melyek azok, amelyek számunkra érdekesek, azaz a jármű lehetséges útvonalára esnek, mely alapján határozhatjuk meg, hogy a jármű milyen manővert hajtson végre. Amennyiben az autó előtt olyan nagyméretű úthiba van, hogy az kárt okozhatna a járműben, akkor elkerülést hajtson végre, egyébként pedig maradjon a sávjában és az esetleges úthibát úgy kerülje el, hogy a közepe a jármű nyomtávja közepére essen (1. ábra).



1. ábra: Zölddel a detektált úthibák, pirossal az újratervezett út

Az úthibák detektálása korántsem egyszerű feladat. Ahhoz, hogy ezt sikeresen megtegyük el kell tudnunk különíteni azt, hogy mi a vezethető felület és melyek azok a részek, amelyek ezen kívül esnek, további nehézséget okoz, hogy a valós útfelület általában sem hosszirányban, sem oldalirányban nem vízszintes, valamilyen meredekségű dőléssel rendelkezik (2. ábra).



2. ábra: Extrém eset az útfelület dőlésének bemutatására

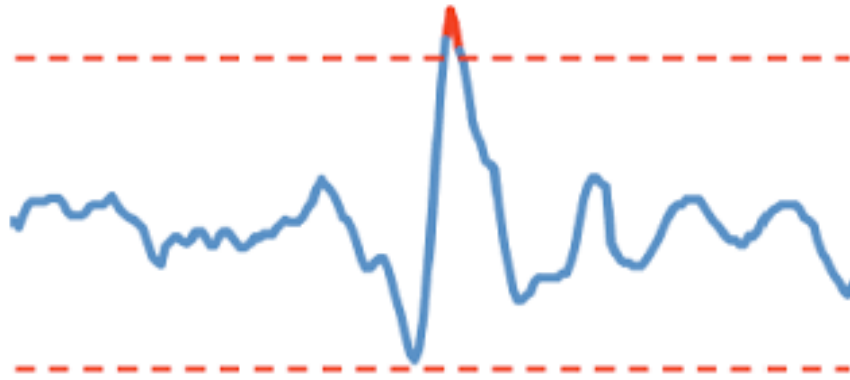
Szakirodalmi áttekintés

A szakirodalom szerint három különböző módszer dolgoztak ki az úthibák detektálására.

a. Rezgés alapú detektálás

A rezgés alapú detektálás általában valamilyen járműre szerelt IMU (Inertial Measurement Unit, egy olyan eszköz, amely giroszkópot, gyorsulásmérőt és magnetométert tartalmaz és képes meghatározni a elmozdulásakor rá eső erőket és szögsebességeket x, y, z irányban) vagy gyorsulásmérő segítségével történik, melyet jellemzően a járművek első tengelyére helyeznek. A szenzortól érkező függőleges, z irányú gyorsulásra meghatároznak egy határértéket, melyet átlépve történik a detektálás (3. ábra). A módszert egy megfelelő pontosságú GPS-el (Global Positioning System) valósítható meg, A GPS egy fejlett helymeghatározó rendszer, amellyel háromdimenziós helyzetmeghatározás végezhető a földfelszínen, vízfelszínen vagy levegőben.

Pontossága jellemzően méteres nagyságrendű, de differenciális mérési módszerekkel, fix földi bázisállomás jelét is felhasználva akár milliméteres pontosságot is el lehet érni, valós időben. Kombinálva, megfelelő mennyiségű adatból létre lehet hozni egy folyamatosan frissülő adatbázist. A módszer hátránya, hogy csak olyan úthibák kerülnek azonosításra, amelyekre a járművezető rámeleg, illetve a járművek futóműve különböző csillapítási tényezővel rendelkeznek. A rezgés alapú azonosítást általában valamilyen offline alkalmazásokhoz szokták használni, mely előre jelzi a felhasználó számára az úthibák mennyiségét és minőségét így a járművezető előre fel tud készülni az esetleges elkerülő manőverre.



3. ábra: Egy példa a Z irányú gyorsulásokra

b. 2D információ alapú detektálás

A kamerával történő úthiba megfigyelés az egyik legelterjedtebb és leghatékonyabb módszer a jármű előtt lévő objektumok eredményes azonosítására. A jelenleg elérhető módszerek neurális háló segítségével szegmentálják a kamerától beérkező jelet, és az objektumok befoglaló méreteit adják vissza (4. ábra). A módszer hátránya, hogy mélységi adatot nem vagy nem elég pontosan szolgáltat főleg az olyan úthibáknál, amelyek vízzel telítettek. A módszer másik hátránya, hogy a fényviszonyok erősen befolyásolhatják az azonosítás eredményességét (5. ábra).



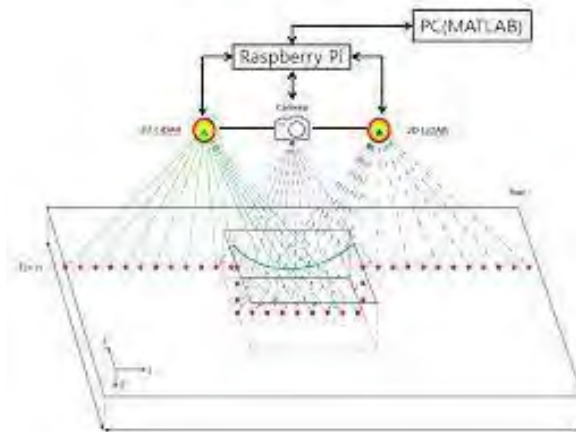
4. ábra: Zölddel látható a detektált objektumok befoglaló méretei



5. ábra: A fényviszonyok illetve a kiömlő anyagok befolyásolják a módszer eredményességét.

c. 3D információ alapú detektálás

A 3D alapú megoldásoknak a gyakorlatban két verziója elérhető, amikor 2D-s LIDAR van a kamerával egyesítve, illetve amikor csak 3D LIDAR-ral végzik a detektálást. Az első megoldás előnye, hogy a kamera az előző fejezetben leírtaknak megfelelően megadja az úthiba szélességét és hosszúságát, míg a 2D LIDAR az úthiba mélységét hivatott megállapítani. A módszer hátránya, hogy a mélységadatok csak egyetlen pontban érvényesek, így nem alkalmasak arra, hogy egy megbízható valós idejű alkalmazást adjon autonóm járművek számára.



6. ábra: 2d Lidar és kamera egyesítése

Jelenleg a 3D-s alkalmazások úgy működnek, hogy az úthibák detektálásához szükséges az egész útfelületet végig pásztázni.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a Tématerületi Kiválósági Program 2020 keretein belül a „Nemzeti Kihívások Alprogram – Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen és Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.lowmanlawfirm.com/blog/bid/63142/top-5-mechanical-failures-that-cause-car-accidents>
- [2] Peng Wang, Yongbiao Hu, Yong Dai, and Mingrui Tian: Asphalt Pavement Pothole Detection and Segmentation Based on Wavelet Energy Field, Hindawi Mathematical Problems in Engineering, Volume 2017, Article ID 1604130, 13 pages, <https://doi.org/10.1155/2017/1604130>
- [3] Christian Koch, Ioannis Brilakis: Pothole detection in asphalt pavement images, 2011
- [4] Hsiu-Wen Wang, Chi-Hua Chen Ding-Yuan Cheng, Chun-Hao Lin, and Chi-Chun Lo:
A Real-Time Pothole Detection Approach for Intelligent Transportation System. 2014
- [5] Chao Wu, Zhen Wang, Simon Hu, Julien Lepine, Xiaoxiang Na, Daniel Ainalis and Marc Stettler: An Automated Machine-Learning Approach for Road Pothole Detection Using Smartphone Sensor Data, 2020.



RRF-2.3.1-21-2022-00004 – MESTERSÉGES INTELLIGENCIA NEMZETI LABORATÓRIUM

RRF-2.3.1-21-2022-00004

Konzorciumvezető: Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (SZTAKI)

Konzorciumi partnerek:

- Széchenyi István Egyetem (SZE)
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)
 - Rényi Alfréd Matematikai Kutatóintézet (Rényi)
 - Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE)
 - Szegedi Tudományegyetem (SZTE)
 - Semmelweis Egyetem (SE)
 - Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézet (KOKI)
 - Társadalomtudományi Kutatóközpont (TK)
 - Nemzetbiztonsági Szakszolgálat (NBSZ)
- Kincstári Informatikai Nonprofit Felelősségű Társaság (KINCSINFO)

A projekt teljes összege: 9 439 666 600 Ft

Támogatási összeg (SZE): 470 000 000 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2022.03.01. – 2025.06.30.

Projektismertető:

A Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium projekt célkitűzése mesterséges intelligencia alkalmazások kutatása, hálózatos működés kialakítása és koordináció az alábbi kutatási területeken:

- Mesterséges intelligencia alkalmazási lehetőségeinek kutatása az IPAR 4.0 technológiai fejlesztések területén.
- Mesterséges intelligencia alkalmazási lehetőségeinek kutatása az autonóm közlekedési rendszerek technológiai fejlesztések területén.
- Mesterséges intelligencia alkalmazási lehetőségeinek kutatása az infokommunikációs technológiák fejlesztési területein:

Weboldal: <https://mi.nemzetilabor.hu/>

A projekt megvalósítását Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatja a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00004) keretében.

Kapszula hálózatok hatékonysági vizsgálata ellenséges minták esetén

Investigation of the efficiency of capsule networks in the case of adversarial samples

Hollósi János^a, Ballagi Áron^b, Pozna Claudiu Radu^c

^aSzéchenyi István Egyetem, Informatika Tanszék

^bSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási Tanszék

^bTransilvania University of Braşov, Automation and Information Technology Department

Absztrakt: A kapszula alapú mesterséges neurális hálózatokat Geoffrey Hinton és kutatócsapata vezette be. Ezzel az újfajta megközelítéssel a céljuk a hagyományos konvolúciós neurális hálózatok hatékonysági hibáinak a kiküszöbölése volt. Ideértve elsődlegesen a konvolúciós neurális hálózatok azon problémáját, hogy a látott vizuális adatokat térben nem képesek leképezni. Ilyen módon, ha egy jól felismerhető bemeneti vizuális adaton megfelelő geometriai transzformációt hajtunk végre, akkor a konvolúciós neurális hálózat akár egy nagyságrenddel alacsonyabb hatékonysági fokon lesz képes realizálni a látottakat, attól függetlenül, hogy a transzformáció ellenére a kép információ tartalma emberi résztvevő számára nem változott. Jelen tanulmányban a célunk a kapszula alapú hálózatok hatékonyságának a vizsgálata olyan körülmények között, ahol a hálózatok tanítása és tesztelése részben vagy egészben az ideálistól távoli, úgynevezett ellenséges adatkészletek felhasználásával történik. Munkánk során bemutatjuk a kapszula hálózatok működését, részletezzük a kutatás során felhasznált támadási módszereket és alkalmazott adatkészleteket, valamint bemutatjuk a megkonstruált hálózatok tanítási és tesztelési folyamatait és azok eredményét, hatékonyságát. Ennek kimenetétül látni fogjuk, hogy a kapszula hálózatok területén milyen hatékonyság romlás figyelhető meg a különféle támadási módszerek alkalmazása során.

Kulcsszavak: Neurális hálózatok, kapszula hálózatok, ellenséges minták

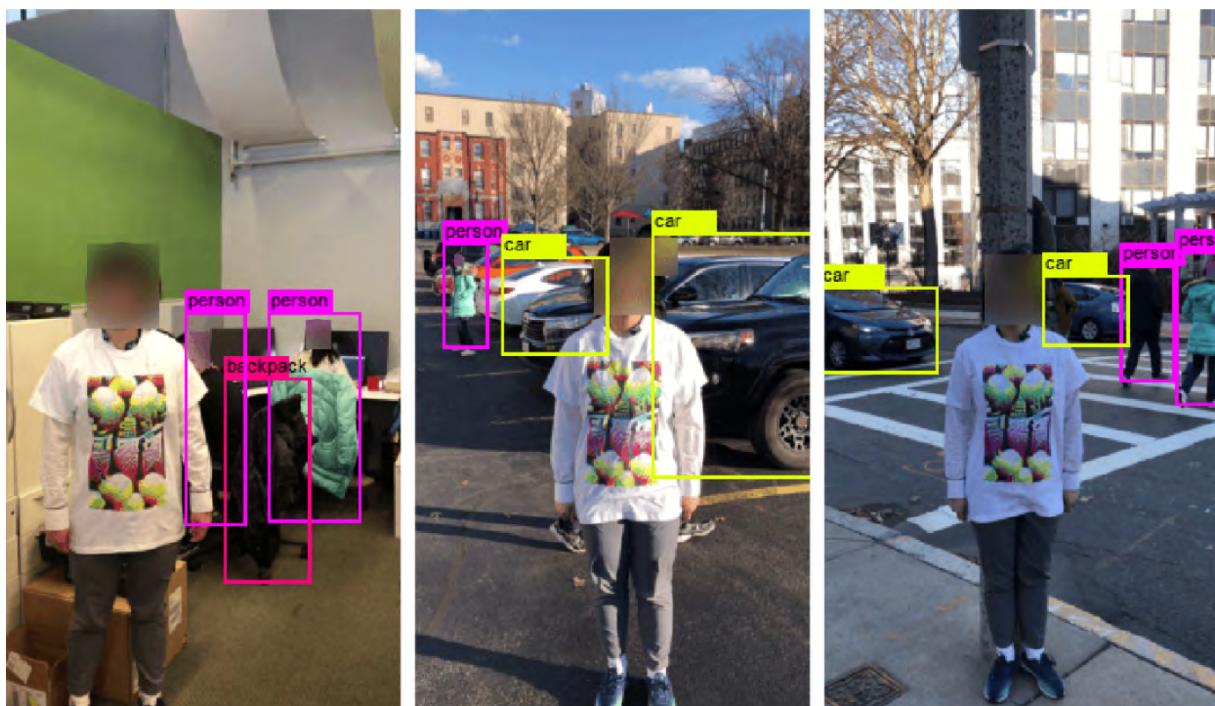
Abstract: Capsule-based artificial neural networks were introduced by Geoffrey Hinton and his research team. With this new kind of approach, their goal was to eliminate the efficiency flaws in traditional convolutional neural networks. Including primarily the problem of convolutional neural networks in that they are unable to map the visual data they see in space.

In this way, if a proper geometric transformation is performed on a well-recognized input visual data, the convolutional neural network will be able to realize what is seen at an order of magnitude lower, regardless of the fact that the image information content has not changed for a human participant. In the present study, we aim to investigate the effectiveness of capsule-based networks in environments where networks are taught and tested in part or in whole using so-called adversarial datasets that are far from ideal samples. In the course of our work we present the operation of the capsule networks, detail the attack methods and datasets used in the research, as well as the training and testing processes of the constructed networks and their results and efficiency. As a result, we will see the efficiency degradation observed in the application of various attack methods in the field of capsule networks.

Keywords: Neural networks, capsule networks, adversarial samples

Bevezetés

A mesterséges neurális hálózatok hosszú ideje hatékony és megbízható eszközként szolgálnak különféle vizuális alapú adatok feldolgozása esetén. Ide tartozik a digitális fényképek és videófelvevételek osztályozása, szegmentálása, objektumok detektálása és ezekhez hasonló feladatok. Az önvezető járművek területén is megjelentek a mesterséges neurális hálózatok, hiszen a jármű környezetének felismerését és megértését nagymértékben megkönnyítik az ilyen jellegű mesterséges intelligencia alapú megoldások. Azonban, ahogy a mesterséges intelligencia és a mesterséges neurális hálózatok térhódítása egyre nagyobb, úgy kap egyre nagyobb hangsúlyt az ilyen jellegű megoldások megbízhatóságának a vizsgálata. Az elmúlt évek során egyre több kutatás fókuszál a neurális hálózatok támadhatóságára, megtéveszthetőségére. Itt olyan megoldásokra kell gondolni, ahol egy célfeladatra megkonstruált neurális hálózat rosszul értelmez olyan úgynevezett ellenséges bemeneti adatot, amelynek megértése emberi résztvevő számára nem okoz problémát. Erre mutat példát az 1. ábra, ahol olyan grafikai elem került elhelyezésre a személy ruházatán, amely megtéveszti a neurális hálózatot és a grafikának köszönhetően nem lesz képes detektálni a jól kivehető emberi alakzatot. [1]



1. ábra: Megtévesztő minta neurális hálózatok számára [1]

Xu és társai [1] kutatásában szándékosan generáltak olyan mintát, ami tudhatóan megtéveszti a neurális hálózatot, azonban a gyakorlatban előfordulhatnak olyan szélsőséges esetek, ahol a megtévesztés nem szándékos vagy előre nem sejthető. Könnyen belátható, hogy ilyen és ehhez hasonló jellegű problémák nem megengedhetők több gyakorlati területen sem, így az önvezető járművek kapcsán sem, ahol a megbízhatóság különösen magas szintet kell, hogy képviseljen.

Munkánk során 3 különböző eljárást veszünk górcső alá, melyeknek célja, hogy a feldolgozandó bemeneti adatokat úgy módosítsák, hogy azok felismerése nehézséget okozzon a neurális hálózatok számára. A vizsgálat során a hangsúlyt az úgynevezett kapszula alapú hálózatok [2, 3] területére fektetjük.

A kapszula hálózatok elméletének célja, hogy a hagyományos neurális hálózatokhoz képest hatékonyabb eszköztárat biztosítson vizuális adatok feldolgozásához. A vizsgálatunk során arra szeretnénk rávilágítani, hogy a kapszula hálózatok milyen hatékonyságváltozást mutatnak a klasszikus neurális hálózatokhoz képest olyan adatkészletek esetén, ahol valamilyen megtevesztő zajforrással terheltek a feldolgozandó adatok.

Kapszula hálózatok

A kapszula hálózatok [2, 3] elméletének kidolgozása Geoffrey Hinton nevéhez köthető, aki sok más alapvető elmélet és algoritmus kidolgozója a mesterséges intelligencia területén belül.

Az új elméletet a hagyományos neurális hálózatok nyomán alkották, ugyanakkor igyekeztek olyan új módszert létrehozni, amely a felvázolt problémák esetén robusztusabb, mint a neurális hálózatok. Amíg a neurális hálózatok építőeleme a neuron, addig a kapszula hálózatok alapegysége az úgynevezett kapszula. A fő különbség a neuron és a kapszula között, hogy a neuron skalár értékekkel dolgozik, a kapszula pedig tetszőleges dimenziójú vektorokat használ. Úgy is tekinthetünk a kapszulára, mintha neuronok egy zárt, egybefüggő csoportját képeznék. A hálózatok esetén értelmezett különféle műveletek pedig ennek megfelelően módosulnak.

Legyen i egy kapszula és j egy i -nél magasabb szintű kapszula. Ekkor legyen a súlyozott bemenet

$$\hat{u}_{j|i} = W_{ij} u_i \quad (1)$$

ahol W_{ij} a súlymátrix és u_i a bemeneti vektor az i -edik kapszula esetén.

Az úgynevezett összekapcsolási együttható megadása a softmax függvény segítségével történik a következők szerint

$$c_{ij} = \frac{\exp(b_{ij})}{\sum_k \exp(b_{ik})} \quad (2)$$

ahol b_{ij} annak a valószínűsége, hogy az i -edik kapszula a j -edik kapszula irányába továbbítja a kimenetét. Az összegzett bemenet a j -edik kapszula számára az alábbiak szerint adható meg

$$s_j = \sum_i c_{ij} \hat{u}_{j|i} \quad (3)$$

Kapszulahálózatok esetén az előrejelzés számszerűsítésére a kimeneti vektorok hosszát alkalmazzák, ehhez az is szükséges, hogy a kapott vektorok hossza a $[0, 1]$ intervallumba kerüljön. Az elmélet kidolgozói bevezették az úgynevezett squash függvényt, amit a következő módon számíthatunk:

$$v_j = \frac{\|s_j\|^2}{1 + \|s_j\|^2} \frac{s_j}{\|s_j\|} \quad (4)$$

Az egymásra épülő kapszulák közötti információ áramlását a c súlyértékekkel lehet szabályozni, melyeknek a számítása egy iteratív módon működő algoritmus segítségével történik. Ez az úgynevezett dinamikus útválasztás.

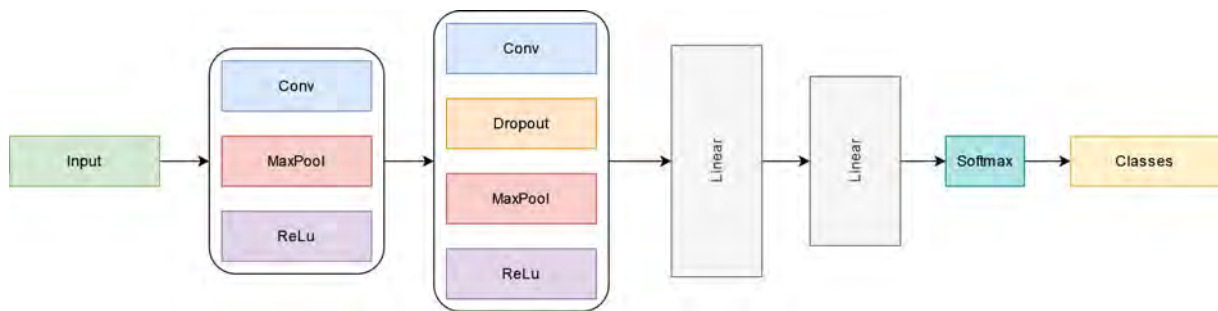
Az útválasztási algoritmus célja, hogy a magasabb szintű és az alacsonyabb szintű kapszulák közötti információ közvetítés fő irányát meghatározza. Az útválasztó algoritmus működését az 2. ábra foglalja össze.

$$\begin{aligned} \forall i, j \quad b_{ij} &= 0 \\ r \text{ iteráción keresztül:} \\ \forall i \quad c_i &= \frac{e^{b_i}}{\sum_j e^{b_j}} \\ \forall j \quad s_j &= \sum_i c_{ij} \hat{u}_{j|i} \\ \forall j \quad v_j &= \frac{\|s_j\|^2}{1 + \|s_j\|^2} \frac{s_j}{\|s_j\|} \\ \forall i, j \quad b_{ij} &= b_{ij} + \hat{u}_{j|i} v_j \\ ki: \quad v_j & \end{aligned}$$

2. ábra: Dinamikus útválasztás algoritmusa

Alkalmazott architektúrák

A vizsgálat során három eltérő felépítésű mesterséges neurális hálózat architektúrát alkalmaztunk. Mindhárom hálózat esetén elkészítésre került annak hagyományos értelemben vett neurális hálózatra épülő példánya, valamint a kapszulahálózatok elmélete szerinti megvalósítása.



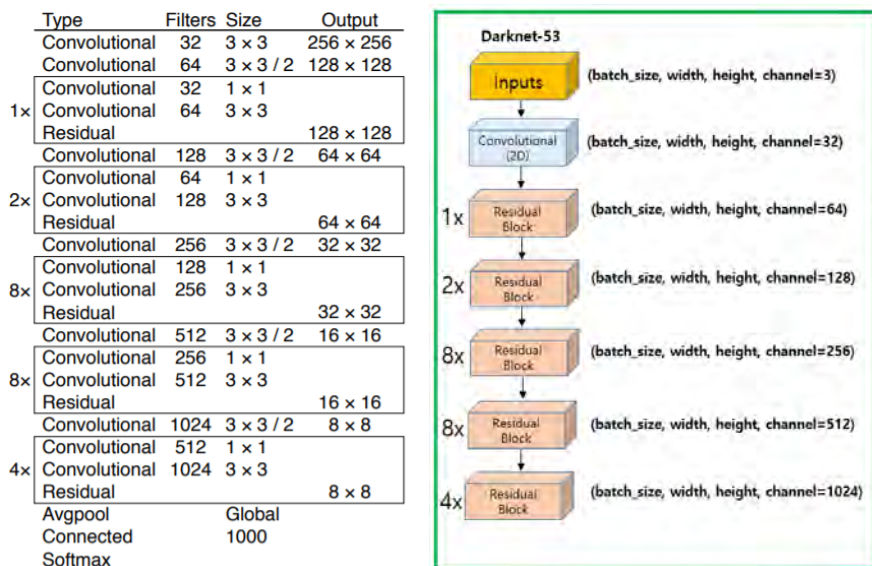
3. ábra: BaseNet architektúra

Az első hálózat meglehetősen egyszerű felépítésű, ez a BaseNet nevet viseli. A BaseNet hálózat főbb komponenseinek kapcsolatát szemlélteti a 3. ábra. A hálózat bemenete az első konvolúciós blokkba kerül, ahol egy konvolúciós szűrő réteg, egy MaxPool réteg, majd egy ReLu szűrés található.

A következő blokk ehhez hasonló, de a konvolúciós réteg után egy dropout réteg található, ezzel egyszerűsítve a hálózatot, ezután két, teljesen összekapcsolt lineáris transzformációs réteg következik. Végül az osztálykategóriák egy softmax réteg segítségével állnak elő. Az ilyen típusú hálózattal a cél annak vizsgálata, hogy egy egyszerű, alacsony hatékonyságú megvalósítás esetén milyen eltérés figyelhető meg a neuron és a kapszula alapú elgondolások között.

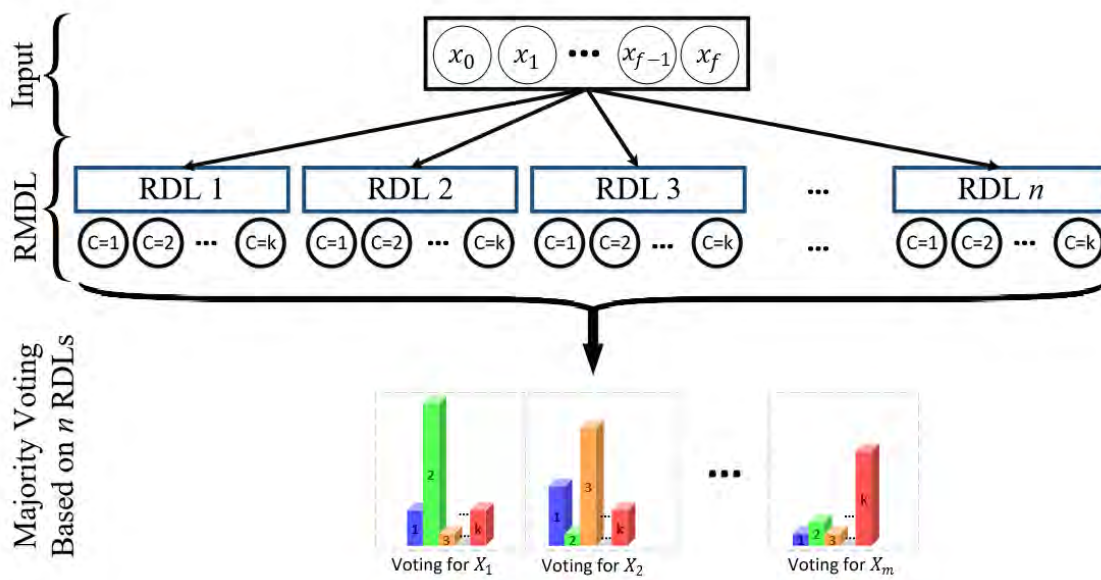
A következő hálózati architektúra a népszerű DarkNet [4] hálózat alapján készült, melynek felépítése a 4. ábrán látható. A DarkNet több elterjedt, valamint state-of-the-art jellegű megvalósítások alapját képezi, mint például a szintén méltán népszerű YOLO [5] architektúra, felépítését tekintve ugyanakkor, nem a legbonyolultabb hálózatok közé sorolható, így a nagyszerűsége az egyszerűségében is rejlik.

A bemeneti kép először itt is egy konvolúciós blokkba kerül, ahol egymás után két konvolúciós réteg található, ezután 5 darab úgynevezett reziduális réteg következik, ahol minden reziduális réteg előtt egy-egy konvolúciós blokk található. Az egyes reziduális rétegek méreteit a 4. ábra mutatja be.



4. ábra: DarkNet architektúra

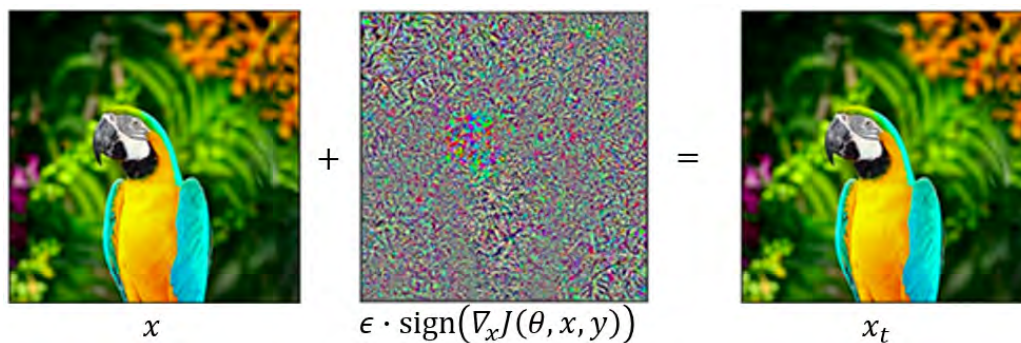
Utolsóként egy komplexebb neurális hálózati architektúrát választottunk, mely egy RMDL (Random Multimodel Deep Learning for Classification) [6] alapú hálózat. A megközelítés lényege, hogy egymással párhuzamosan több eltérő paraméterezésű alhálózat végzi el a feladatot, majd a végén az egyes alhálózatok eredménye kerül összegzésre szavazásos módszer alkalmazásával. Az elképzelést az 5. ábra mutatja.



5. ábra: RMDL architektúra

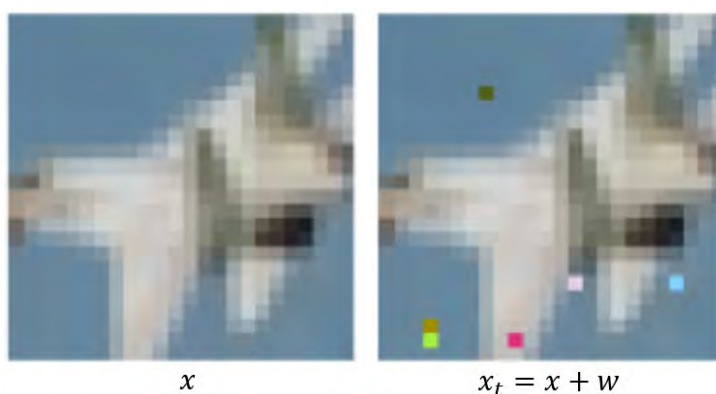
Támadási módszerek

Az ellenséges minták generálásához három különböző támadási módszer került felhasználásra. A módszerek kiválasztása során szem előtt tartottuk, hogy azok lehetőség szerint különböző jellegű zajokat generáljanak, valamint igyekeztünk olyan megvalósításokat felhasználni, melyek bizonyítottan kellően nagy hatékonysággal képesek befolyásolni a mesterséges neurális hálózatok működését.



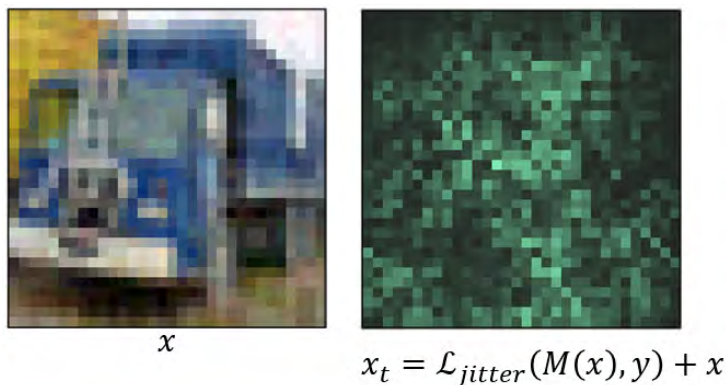
6. ábra FGSM [7] támadás

Az első támadási módszer a Goodfellow és társai [7] által bevezetett FGSM támadás, melynek lényege, hogy a mesterséges neurális hálózat gradiens értékei alapján egy olyan zajképet generál, melyet, ha az eredeti bemeneti képhez hozzáadunk, mint zajforrást, akkor a hálózat nem megfelelően fogja osztályozni az adott képet. A módszer sajátossága, hogy olyan zajforrást állít elő, amely a hálózatot megtéveszti, az ember számára bár nehezen, de észrevehető.



7. ábra CW [8] támadás

A második alkalmazott módszer a Carlini és Wagner [8] által megalkotott CW támadás. Ebben a megközelítésben az eredeti bemeneti képen néhány képpont értéke kerül megváltoztatásra. A változtatások az emberi résztvevő számára is jól észrevehetőek, viszont mennyiségük olyan szinten van, hogy a kép tartalma az ember számára még értelmezhető, viszont a mesterséges neurális hálózatot megtévesztheti.



8. ábra Jitter [9] támadás

Az utolsó módszer a Schwinn és társai [9] által publikált Jitter támadás, ahol a generálás során olyan képek kerülnek generálásra, melyek emberi résztvevő számára nem értelmezhetők, viszont a hálózatot megtéveszti és valamilyen megadott osztálykategóriába képes sorolni az adott képet.

Alkalmazott adatkészlet

A vizsgálat során az úgynevezett MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology database) [10] adatkészlet került felhasználásra. Az adatkészlet segítségével történt a bemutatott három neurális hálózat tanítása, ahol a bemenet egy-egy kép az MNIST adatkészletből, a kimenet pedig a képhez tartozó osztálykategória.

Az MNIST kézzel írt számjegyeket ábrázoló képekből épül fel. Az adatkészlet összesen 70.000 darab képet tartalmaz, melyből 60.000 darab a tanítókészlet és 10.000 darab a tesztkészlet. Minden kép szélessége és magassága egyaránt 28 képpont, valamint minden kép pontosan egy darab számjegyet tartalmaz. Néhány mintát szemléltet a 9. ábra, ahol az MNIST adatkészletből származó, számjegyeket tartalmazó képek kerültek összefűzésre.



9. ábra: Mintaképek az MNIST adatkészletből [10]

A megvalósítás során az MNIST adatkészlet nem eredeti formájában került felhasználásra. Az adatkészlet képein módosítások történtek a bemutatott támadási módszerek segítségével, illetve zajforrások kerültek hozzáadásra az egyes képekhez. A hálózatok tanítása során csak olyan képek kerültek felhasználásra, amihez zajforrás került hozzáadásra, ilyen módon a képeken a számjegyek felismerése nehezebbé vált, ezzel pedig jól vizsgálható, hogy zajterhelés esetén az egyes hálózatok hogyan képesek teljesíteni.

Eredmények

A két megközelítés alapján (neuron, kapszula) kialakított összesen 6 darab mesterséges neurális hálózati architektúra a három támadási módszer felhasználásával külön-külön módosított MNIST adatkészlettel került tanításra, majd tesztelésre. A teszt során az MNIST készlet eredeti képei kerültek felhasználásra, az ellenséges minták csak a tanítási fázis során jelentek meg. Mindezek eredményét az 1. táblázat foglalja össze, ahol a 6 hálózatnak tesztkészleten mért hatékonysága figyelhető meg.

	Támadás nélkül	FGSM	C&W	Jitter
BaseNet	98,54	3,21	98,43	94,40
BaseNet _{Caps}	98,97	31,33	99,88	91,57
DarkNet	99,17	9,57	99,16	47,54
DarkNet _{Caps}	99,20	30,17	99,35	47,60
RMDL	99,16	44,11	99,19	92,89
RMDL _{Caps}	99,64	34,49	99,56	47,59

1. táblázat: A hálózatok osztályozási hatékonysága a különféle támadási módszerek függvényében

Kutatásunk eredménye azt mutatja, hogy ellenséges minták figyelembevétele nélkül a kapszula alapú megvalósítás ugyan hatékonyabb, de nem mutat számottevő javulást a neuron alapú megoldásokhoz képest vizuális adatok osztályozása esetén. A támadási módszerek alkalmazása során részben más képet fest az eredmény. Az a tapasztalat, hogy egyszerűbb felépítésű hálózatok esetén jelentős javulást lehet elérni a kapszula alapú megközelítéssel FGSM támadási módszer esetén. A kutatásunk folytatásaként szeretnénk erre a részterületre összpontosítani és nagyobb hatékonyságot elérni az ilyen jellegű ellenséges minták megjelenése során, ez azért fontos, mivel a valós életben is előfordulhatnak olyan helyzetek, amikor valamilyen zavaró tényező az adott osztályozási vagy szegmentálási feladat esetén zajforrásként jelenik meg, ennek eredményeként pedig a hálózat hatékonysága csökkenhet, ami egy gyakorlati felhasználás során nem megengedhető.

Például az önvezető járművek esetén nem elfogadható, ha a jármű valamilyen természetes eredetű zajforrás megjelenése során nem tudja megfelelően értelmezni a környezetét és ebből adódóan rossz döntést hoz. Az ilyen és ehhez hasonló esetek végett szükséges foglalkozni a neurális hálózat zajterheléssel történő sebezhetőségének vizsgálatával.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00004) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Artificial Intelligence National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00004).

Irodalomjegyzék

- [1] Kaidi Xu, Gaoyuan Zhang, Sijia Liu, Quanfu Fan, Mengshu Sun, Hongge Chen, Pin-Yu Chen, Yanzhi Wang, Xue Lin: Adversarial T-Shirt! Evading Person Detectors in a Physical World. In: Vedaldi A., Bischof H., Brox T., Frahm JM. (eds) Computer Vision – ECCV 2020. ECCV 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12350. Springer, Cham.
- [2] Sabour, S., Frosst N., Hinton, G. E.: Dynamic routing between capsules. Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- [3] Hinton, G. E., Sabour S., Frosst, N.: Matrix capsules with em routing. 6th International Conference on Learning Representations, Vancouver, BC, Canada, április 30 - május 3, 2018.
- [4] Joseph Redmon: Darknet: Open Source Neural Networks in C. <http://pjreddie.com/darknet/> [Utolsó elérés: 2021.10.01.]
- [5] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi: You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 779-788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- [6] Kowsari, Kamran and Heidarysafa, Mojtaba and Brown, Donald E. and Meimandi, Kiana Jafari and Barnes, Laura E.: RMDL: Random Multimodel Deep Learning for Classification, Proceedings of the 2Nd International Conference on Information System and Data Mining, Lakeland, FL, USA, 2018.

- [7] Goodfellow, Ian, Shlens, Jonathon, Szegedy, Christian: Explaining and Harnessing Adversarial Examples. arXiv 1412.6572, 2014.
- [8] N. Carlini, D. Wagner: Towards Evaluating the Robustness of Neural Networks, 2017 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), 2017, pp. 39-57, doi: 10.1109/SP.2017.49.
- [9] Schwinn, Leo, Raab, René, Nguyen, An, Zanca, Dario, Eskofier, Bjoern: Exploring Misclassifications of Robust Neural Networks to Enhance Adversarial Attacks.
- [10] LeCun Yann, Cortes Corinna: MNIST handwritten digit database, 2010. (<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>)

New retail in the virtual reality

Újfajta kereskedelem a virtuális valóságban

Koteczki Réka^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Abstract: Virtual Reality (VR) is becoming an integral part of all areas of human life. VR technology is used in several areas and considered to be a promising application area in shopping and retail as well. This article presents the literature on new retail, including virtual reality and augmented reality. The literature review is based on 16 articles from the last 3 years. Recent studies on smart retailing technologies started to consider a variety of technological solutions to enhance shopping experiences. Research confirms that the inclusion of virtual reality in commerce can increase the perceived enjoyment. Virtual appeal is positively related to enhanced consumer perceptions and satisfaction, a significant number of retailers today focus on providing innovative and entertaining tools that aid in establishing an increasingly efficient online store.

Keywords: virtual reality, augmented reality, new retail

Absztrakt: A virtuális valóság (VR) az emberi élet minden területének szerves részévé válik. A VR-technológiát számos területen alkalmazzák, továbbá ígéretes alkalmazási területnek számít a vásárlásban és a kiskereskedelemben is. Ez a cikk az újfajta kiskereskedelemmel, ezen belül a virtuális valósággal és a kiterjesztett valósággal kapcsolatos szakirodalmat hivatott bemutatni. Az irodalmi áttekintés az elmúlt 3 év 16 cikkén alapszik. Az intelligens kiskereskedelmi technológiákkal foglalkozó legújabb tanulmányok számos technológiai megoldást kezdtek figyelembe venni a vásárlási élmény fokozására. A kutatások megerősítik, hogy a virtuális valóság bevonása a kereskedelemben növelheti az érzékelt élvezetet. A virtuális vonzerő pozitívan kapcsolódik a fogyasztók fokozott észleléséhez és elégedettségéhez. A kiskereskedők jelentős része ma arra összpontosít, hogy innovatív és szórakoztató eszközöket biztosítson, amelyek segítik az egyre hatékonyabb online áruházak létrehozását.

Kulcsszavak: virtuális valóság, kiterjesztett valóság, újfajta kereskedelem

Introduction

Online shopping first appeared in the early 1990s (Zhou et al., 2007) and for many merchants, it has since become one of the most essential ways to market. This current trend has the potential to increase customer demand for online shopping (Donthu and Gustafsson, 2020), as well as more targeted company investments in online shopping platforms, such as the development of Virtual Reality (VR) technology (Schnack et al., 2021). Smart technologies have been ingrained in modern lifestyles and consumer habits, resulting in a global business environment shift. According to Nikhashemi et al., (2021) global retail is one of the most affected industries. In the United States, for example, smart devices and mobile applications were used to complete a quarter of total e-commerce transactions in 2019 and this trend in mobile app use is predicted to reach 45 percent in 2020 (Meola, 2019).

Due to the exponential development in consumers using smart mobile devices for all of their purchases. South China has emerged as a "smart consumer market" in the far east markets (KPMG, 2018).

The retail industry has reacted quickly to the growing ubiquity of 'smart lifestyles' in consumer and commercial markets around the world by increasingly integrating 'smart retailing' into their business strategy (Nikhashemi et al., 2021). According to Pantano & Timmermans (2014) smart technologies can be seen as "[...] enablers of innovation and improvements in consumer quality of life" in general. Virtual reality is one of the technology megatrends driving the digitalization of all aspects of human existence today (Lee et al., 2020). The worldwide virtual reality industry was valued at USD 3.13 billion in 2017 and is predicted to reach USD 49.7 billion by 2023, according to a report by Orbis research (2018). VR technology is now being employed in a variety of fields, including entertainment, advertising, product design and display, construction, and tourism (Xi et al., 2021). According to several scholars shopping and retail are regarded to be one of the most promising application areas of VR in a commercial setting (Cowan & Ketron, 2019; Ketoma et al., 2018; Moes & van Vliet, 2017; Sikström et al., 2016). Virtual reality is undeniably changing the way consumers, businesses and retailers interact in today's world. Due to the effects of the coronavirus pandemic, consumer and enterprise virtual reality (VR) sales in 2020 were 3.89 billion US dollars, a decrease from the previous year. Revenues from virtual reality are predicted to increase to \$4.84 billion in 2021 (Statista, 2021).

The paper is structured as follows: after the introductory part, a general overview of the literature on the topic will be presented. The literature will be discussed in more detail, including virtual reality, augmented reality and new retail. At the end of the article a short summary can be seen.

Literature review

To conduct my research I used the database Science Direct, using the keyword 'virtual reality and retail'. The search results were further narrowed down to 235 articles, based on years, subject areas, article types and access type. Based on the abstracts of the scientific articles, I have made further reductions and finally 16 articles form the basis of my study.

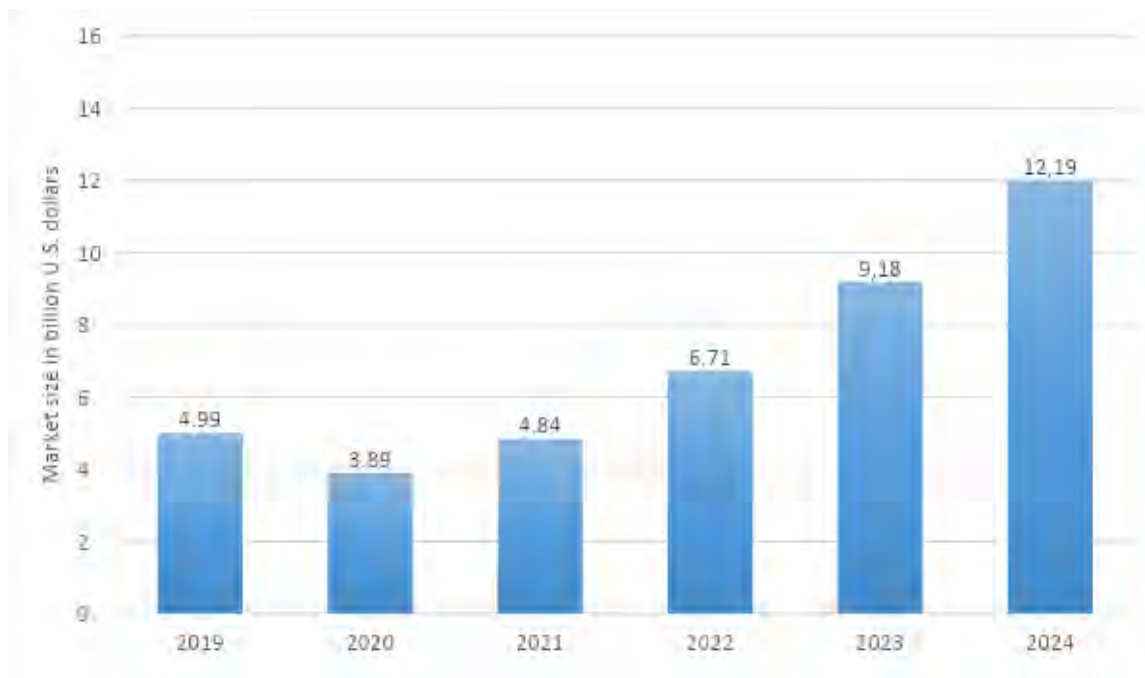
According to Poushneh and Vasquez-Parraga (2017) AR is an interactive technology that projects a virtual 3D representation of a product onto the real world to change the physical environment and allow users to control the 3D model. AR allows customers to enhance their perception of their surroundings and engage with them in real time through 3D virtual items. Furthermore, AR allows users to interact with physical and online businesses via smart devices by giving highly customized service, a vivid experience and related digital information (Yoo, 2020). Augmented reality enables consumers a 'try before you buy' experience and retailers may use AR to increase online conversion rates and decrease return rates (Morgan, 2017). With the help of AR, consumers are able to test a new lipstick, try on glasses in an AR virtual mirror and can also place a product in certain surroundings (Fan et al., 2020). Apple, GAP, Hyundai, IKEA, Lego, L'Oreal, Ray-ban, Nike are among the retailers embracing the AR trend. AR is an interactive technology that uses overlay virtual objects to change the actual world. Sutherland (1965) created the first AR prototype, which used a head-mounted display to see 3D pictures. AR has the ability to, however, perceived intrusiveness may be present in consumers. increase the perceived enjoyment According to Grewal, Roggeveen, and Nordft (2017), augmented reality (AR) will shape the future of retail.

In accordance with Biocca (1992) virtual reality (VR) is the simulation of physical objects and environments using high-definition digital pictures, allowing users to immerse themselves in a digital world merely by wearing a headset. The transmission of "synthetic sensory information that leads to perceptions of environments and their contents as if they were not synthetic" has been characterized as virtual reality as well (Blascovich et al., 2002, p. 105). Individuals can perceive places and objects as if they were physically engaging with them by providing the human brain with the sense of physical presence.

In-store behaviors and perceptions may be accurately duplicated by reconstructing the real shop area using VR, according to some important research on the application of VR to retailing (e.g., Cowan & Ketron, 2019; Farah, Ramadan, & Harb, 2019). Virtual reality's immersiveness can potentially boost the shopping experience's efficiency (Pizzi et al., 2020).

Car manufacturers (e.g. Audi) employ 360-degree virtual reality to assist customers imagine automobile designs and test driving vehicles from the comfort of their own homes. Similarly, retailers intended to invest \$1.56 billion in virtual and augmented reality in 2019. (Torchia & Shirer, 2018). Consumers that use 360-VR feel flow as a result of immersion and presence. A virtual environment (VE), according to Burdea and Coiffet (2003) is a real-time stimulation of one or more of the user's five senses. The term "immersion" refers to the degree to which people are aroused by the VE while being separated from the real world (Witmer & Singer, 1998). Individuals can interact with the VE via immersive VR systems and also via non-immersive VR systems. Non-immersive VR uses traditional interfaces such as a mouse and keyboard. VR headsets and other similar devices are the tools of immersive VR. The experience of presence is influenced by the amount of immersion (Baños et al, 2004). According to Gutiérrez et al. (2008) the way people behave in a VE is comparable to how they would conduct in a similar real-life circumstance. In the context of 5G, virtual reality and augmented reality also play an important role in intelligent tourism. According to Eisingerné et al. (2014) in the case of the city, its appearance, culture and perimeter are important, because that is what is for sale. The elements of territorial identity include design, culture and communication (Eisingerné et al., 2014). From a tourism point of view, major events also have a number of positive effects in addition to their tourist attractiveness (Eisingerné, 2014).

The first figure shows that in 2020, consumer and enterprise virtual reality (VR) revenue amounted to 3.89 billion U.S. dollars, a reduction from the previous year as a result of the impacts of the coronavirus pandemic. In 2021, VR revenues are expected to climb once more to 4.84 billion U.S. dollars. Statista (2021) predicts that, in 2024 consumer and enterprise virtual reality (VR) revenue is going to be amounted approximately 12.19 billion U.S. dollars.



1. Figure: Consumer and enterprise virtual reality (VR) market revenue worldwide from 2019 to 2024
Source: Statista (2021)

In addition to the entertainment industry, virtual reality also plays an important role in commerce and is likely to become even more important as it becomes more widespread. Consumer experiments that are not practical owing to contextual or economical constraints may be conducted using virtual reality and alternative future scenarios can be tested with a real-life feel (Taufik et al. 2021).

Immersive virtual reality allows shoppers to experience a completely different shopping experience, which can be explored through different modes of locomotion (Schnack, 2021). It enables retailers to provide more realistic, three-dimensional representations of the products and ranges advertised, and to place these items in a VR store environment that can be tailored to the individual needs and interests of the shopper. According to Schnack et al. (2021) tailers can use data from shopping records, customer surveys or social media conversations to create tailored shopping experiences that can lead to greater customer engagement, which in turn has a positive impact on sales and loyalty.

Conclusion

Overall, the spread of virtual reality will create change in many industries. In addition to entertainment, it will also play an important role in commerce. Augmented reality already plays an important role in people's lives today, even if many are not aware of it.

Many applications are powered by augmented reality, such as IKEA, Ray, Lego or GAP. Covid-19 has led to huge changes in e-commerce with a huge increase in the number of orders being placed from home. This kind of change in the way we trade will have a big impact on how we shop. Smart technologies have been deeply embedded in modern lifestyles and consumer behaviors, resulting in a transformation in the global business environment. The retail industry has reacted quickly to the growing ubiquity of 'smart lifestyles' in consumer and commercial markets around the world by increasingly integrating 'smart retailing' into their business strategy (Nikhashemi et al., 2021). In today's environment, virtual reality is clearly transforming the way consumers, businesses, and merchants interact. This is supported by the fact that according to some academics, one of the most potential application areas of VR in a commercial context is shopping and retail (Cowan & Ketron, 2019; Ketoma et al., 2018; Moes & van Vliet, 2017; Sikström et al., 2016).

Acknowledgement

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Artificial Intelligence National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00004).

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00004) keretében.

References

- [1] Baños, R. M., Botella, C., Alcañiz, M., Liaño, V., Guerrero, B., & Rey, B. (2004). Immersion and emotion: their impact on the sense of presence. *Cyberpsychology & behavior*, 7(6), 734-741.
- [2] Biocca, F. (1992). Virtual reality technology: A tutorial. *Journal of communication*, 42(4), 23-72.
- [3] Blascovich, J., Loomis, J., Beall, A. C., Swinth, K. R., Hoyt, C. L., & Bailenson, J. N. (2002). Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. *Psychological inquiry*, 13(2), 103-124.
- [4] Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*, Vol. 1. Hoboken, NJ: Wiley.

- [5] Cowan, K., & Ketron, S. (2019). A dual model of product involvement for effective virtual reality: The roles of imagination, co-creation, telepresence, and interactivity. *Journal of Business Research*, 100, 483-492.
- [6] Donthu, N., & Gustafsson, A. (2020). Effects of COVID-19 on business and research.
- [7] Eisingerné Balassa Boglárka et al. (2014) Az EYOF 2017-ben rejlő potenciál kiaknázása. *Nemzetek turizmusa* pp. 228-250, 2588924
- [8] Eisingerné Balassa Boglárka et al. (2014) Most mutasd meg! Önkéntesek bevonásának lehetőségei a győri EYOF kapcsán. „Marketing megújulás” pp.203-212, 2726523
- [9] Fan, X., Chai, Z., Deng, N., & Dong, X. (2020). Adoption of augmented reality in online retailing and consumers' product attitude: A cognitive perspective. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 53, 101986.
- [10] Farah, M. F., Ramadan, Z. B., & Harb, D. H. (2019). The examination of virtual reality at the intersection of consumer experience, shopping journey and physical retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 48, 136-143.
- [11] Grewal, D., Roggeveen, A. L., & Nordfält, J. (2017). The future of retailing. *Journal of Retailing*, 93(1), 1-6.
- [12] Gutierrez, M., Vexo, F., & Thalmann, D. (2008). *Stepping into virtual reality*. Springer Science & Business Media.
- [13] IZZI, G., VANNUCCI, V., & AIELLO, G. (2020). Branding in the time of virtual reality: Are virtual store brand perceptions real?. *Journal of Business Research*, 119, 502-510.
- [14] Ketoma, V. K., Schäfer, P., & Meixner, G. (2018, January). Development and evaluation of a virtual reality grocery shopping application using a multi-kinect walking-in-place approach. In *International Conference on Intelligent Human Systems Integration* (pp. 368-374). Springer, Cham.
- [15] KPMG, 2018. Tapping into smart retail: a survey of CEOs and consumers in the greater bay area. Retrieved from KPMG website: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/cn/pdf/en/2018/11/tapping-into-smart-retail.pdf>.
- [16] Lee, H., Jung, T. H., tom Dieck, M. C., & Chung, N. (2020). Experiencing immersive virtual reality in museums. *Information & management*, 57(5), 103229.
- [17] Meola, A., 2019. Rise of M-commerce. In: *Mobile Ecommerce Shopping Stats & Trends in 2020*. Business Insider. Retrieved from BusinessInsider.com website. <https://www.businessinsider.com/mobile-commerce-shopping-trends-stats>.
- [18] Moes, A., & van Vliet, H. (2017). The online appeal of the physical shop: How a physical store can benefit from a virtual representation. *Heliyon*, 3(6), e00336.

- [19]Morgan, B. 2017. iPhone 8 Augmented Reality feature to revolutionize customer experience.< <https://www.forbes.com/sites/blakemorgan/2017/09/11/iphone-8-augmented-reality-feature-to-revolutionize-customer-experience/#299efda76a6c>>(accessed January 4, 2019).
- [20]Nikhashemi, S. R., Knight, H. H., Nusair, K., & Liat, C. B. (2021). Augmented reality in smart retailing: A (n)(A) Symmetric Approach to continuous intention to use retail brands' mobile AR apps. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 60, 102464.
- [21]Orbis Research (2018). Global Virtual Reality Market Size 2018: Growth Analysis, Technology Trends, Key Features, Statistics, Types, Applications and Outlook 2023. <https://marketersmedia.com/global-virtual-reality-market-size-2018-growth-analysis-technology-trends-key-features-statistics-types-applications-and-outlook-2023/370141>.
- [22]Pantano, E., & Timmermans, H. (2014). What is smart for retailing?. *Procedia Environmental Sciences*, 22, 101-107.
- [23]Poushneh, A., & Vasquez-Parraga, A. Z. (2017). Discernible impact of augmented reality on retail customer's experience, satisfaction and willingness to buy. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 34, 229-234.
- [24]Schnack, A., Wright, M. J., & Elms, J. (2021). Investigating the impact of shopper personality on behaviour in immersive Virtual Reality store environments. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 61, 102581.
- [25]Schnack, A., Wright, M. J., & Holdershaw, J. L. (2021). Does the locomotion technique matter in an immersive virtual store environment?—Comparing motion-tracked walking and instant teleportation. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 58, 102266.
- [26]Sikström, E., Høeg, E. R., Mangano, L., Nilsson, N. C., De Götzen, A., & Serafin, S. (2016, November). Shop'til you hear it drop: influence of interactive auditory feedback in a virtual reality supermarket. In *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 355-356).
- [27]Statista, 2021 Consumer and enterprise virtual reality (VR) market revenue worldwide from 2019 to 2024 Retrieved from Statista webside: <https://www.statista.com/statistics/1221522/virtual-reality-market-size-worldwide/>
- [28]Sutherland, I. (1965). The ultimate display.
- [29]Taufik, D., Kunz, M. C., & Onwezen, M. C. (2021). Changing consumer behaviour in virtual reality: A systematic literature review. *Computers in Human Behavior Reports*, 3, 100093.
- [30]Torchia, M. & Shirer, M. (2018, December 6). Worldwide spending on augmented and virtual reality expected to surpass \$20 billion in 2019. Retrieved 02.07.19 from <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44511118>.

- [31]Wedel, M., Bigné, E., & Zhang, J. (2020). Virtual and augmented reality: Advancing research in consumer marketing. *International Journal of Research in Marketing*, 37(3), 443-465.
- [32]Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.
- [33]Xi, N., & Hamari, J. (2021). Shopping in virtual reality: A literature review and future agenda. *Journal of Business Research*, 134, 37-58.
- [34]Yoo, J. (2020, June). The Effects of Perceived Quality of Augmented Reality in Mobile Commerce—An Application of the Information Systems Success Model. *In Informatics* (Vol. 7, No. 2, p. 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [35] Zhou, L., Dai, L., & Zhang, D. (2007). Online shopping acceptance model-A critical survey of consumer factors in online shopping. *Journal of Electronic commerce research*, 8(1), 41.

A fogyasztói magatartás és a mesterséges intelligencia

Consumer behavior and artificial intelligence

Lukács Bence^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: A jelen tanulmányban a mesterséges intelligencia és a fogyasztói magatartás közös metszéspontjai kerülnek bemutatásra, amely kapcsán kitértünk az egyének és az AI elfogultságaira, amelyek befolyásolják a döntéshozatalt. A mesterséges intelligenciával egyre gyakrabban találkozunk a mindennapi életünkben, különösen a marketing területén. Alkalmazását számos közösségi médiaplatform, keresőmotor és akár a mobiltelefonunk is közvetíti számunkra. A tanulmány fő kérdése, hogy a mesterséges intelligencia képes-e racionálisabb irányba mozdítani az egyéneket. Végül kijelölésre kerültek a lehetséges további kutatási irányokat ezen a területen.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, kognitív torzítások, algoritmusok

Abstract: In the paper, it was presented the common intersection of artificial intelligence and consumer behaviour, where the biases of individuals and AI that influence decision-making were discussed. We are increasingly encountering AI in our daily lives, especially in the field of marketing. Its application is mediated to us by many social media platforms, search engines and even our mobile phones. In the paper, it was encountered whether AI can move individuals in a more rational direction. Finally, possible further research directions in this area were outlined.

Keywords: artificial intelligence, cognitive biases, algorithms

Introduction

Today, AI is receiving increasing attention as it can boost productivity and become a new driver for the economy. While facilitating the development of new industries, markets, services and goods, it can improve decision-making processes, both in terms of quality and efficiency (Abrardi et al., 2021). According to Nordhaus (2020), if artificial intelligence can surpass human intelligence in any manner, mankind would confront an economic singularity.

This would effectively result in unrestricted development and a very prosperous economy in which no one will have to work. To make the wealth produced by superintelligence available to everybody, policymakers must work on lowering wealth distribution techniques and market inefficiencies (Abrardi et al., 2021).

However, Davenport et al. (2020) highlight the impact of AI on consumers' habits, whereby the algorithm favours learned preferences even if the consumer would already deviate from them. It is also necessary for AI to distinguish between the different preferences of different consumer groups, as the needs of smaller groups may be very different from the average (Eisingerné et al., 2012).

The popularity of AI lies in its potential to facilitate people's decisions, responding quickly and efficiently to decision situations, whether in economic or justice domains (Buolamwini et al., 2018). In the application of machine learning and artificial intelligence, researchers have discovered several problems similar to human biases or due to our biases, which I would like to describe in my thesis.

Biases and Machine Learning

Algorithmic bias can be caused by inaccurate algorithmic predictions or improper algorithmic intentions, according to Cogwill & Tucker (2020). Saurwein et al. (2015) looked at the sources of biases and discovered that they might be caused by endogenously generated data and biases in human behavior.

Angwin et al. (2016) found that the software used was twice as likely to incorrectly flag black defendants as being at a higher risk of recidivism and twice as likely to incorrectly flag white defendants as low risk when analyzing the efficacy of the predictions on more than 7000 individuals arrested in Florida between 2013 and 2014. A difficulty with the fairness norm, according to Chouldechova (2017), is that other properties of the data in the algorithm may be connected to ethnicity, resulting in racial bias in the predictions even if the individual's race is not included in the data utilized.

Predictions are created using endogenously generated data, which allows for historical algorithm behavior stability (Tucker, 2019). The real-world environment in which the algorithm functions, rather than the program's black box, may be the source of the problem, according to Chander (2017). To avoid reinforcing old, known biases and prejudices, policymakers must be aware of these processes. According to Michell and Brynjolfsson (2017), incorporating data from many sources can help to decrease algorithmic biases. Because the algorithm acquires biases as a result of the behavioral data it receives, AI outputs can be discriminatory (Abrardi et al., 2021).

Algorithms that appear to be objective may confirm historical racial biases in the face of the data being hacked, as the data may reflect our existing biases (d'Alessandro et al., 2017). Looking for practical justifications, d'Alessandro et al. (2017), in their paper, present some options. These could be cases of over- and under-representation for underrepresented groups.

In the case of over-representation, they point to over-observation of some groups, where more errors are observed than in unobserved groups, and thus pre-existing bias may be reinforced, which is reflected in the data.

In the case of under-representation, smaller groups are at a disadvantage when influenced by machine learning algorithms, as these techniques reflect the proportion of the sample size that appears.

Based on Buolamwini et al. (2018), other algorithmic biases are described that also disadvantage certain groups. In their research, they presented some examples of the disadvantages of facial recognition techniques, such as the facial recognition used by law enforcement agencies, which makes African Americans more likely to be labeled as criminals than other ethnicities. When further tested for effectiveness, it was found that women and young adults are also identified with lower accuracy by facial recognition systems used for law enforcement in the US.

These biases are also present in AI-based recommendations. This is the case of Amazon's workforce selection algorithm, which favoured male applicants over women for technical jobs due to the structure of the dataset (Gupta et al., 2021). Letheren et al. (2020), cite an example of bias based on past results i.e. data, distribution, where the selection algorithm selects applicants based on the characteristics of already admitted university students.

Consumer biases

Kahneman and Tversky with their first collaborative study, *Belief in the Law of Small Numbers*, published in 1971, set the groundwork for the area of cognitive biases in people. This work investigated the heuristic of overconfidence for the first time and then in 1972 in *Subjective probability: A judgment of representativeness*. The availability heuristic was created in 1974 in *availability: A heuristic for estimating frequency and probability*, which is one of the biases discussed here. They devised a model of loss aversion, which they demonstrated by setting out a new utility function, in *Prospect theory: An investigation of decision under risk*, published in 1979.

Overconfidence: Overconfidence occurs when people's subjective (perceived) confidence in their own talents exceeds their objective (real) performance, according to Pallier et al, (2002). Representativeness's biasing effects are not confined to naive subjects. They're also prevalent in educated psychologists' intuitive assessments (Tversky et al., 1971).

Availability heuristic: The occurrence is regarded as impossible or very implausible if no rational possibility comes to mind. If several possibilities spring to mind or if the one that is formed is very compelling, the occurrence in question looks to be likely. People use the availability heuristic to judge the likelihood of an occurrence depending on how quickly an example, instance, or case comes to mind. (Tversky et al., 1973).

Loss aversion: It is considered that the psychological anguish of losing is almost twice as strong as the joy of gaining. People are more inclined to take risks to prevent losing money than to make money. Loss aversion is a basic concept in prospect theory and it may be described as "losses loom bigger than gains." Utility functions for losses were much steeper than for gains, according to Kahneman and Tversky's research (2013).

Confirmation bias: It is characterised by the acceptance of information that can be adapted to a preconceived worldview, rejecting any information that contradicts one's own beliefs (Nickerson, 1998).

For the cognitive biases described, many researchers have proposed algorithms to solve the problem. From the previous chapter, we can see that they also have many shortcomings, however, their decision-making accuracy is considered superior to that of human decision-makers (Kahneman et al., 2021). Below I mention some examples in which algorithms are used in specific economic aspects.

Algorithms can assist customers in making more reasonable judgments in the face of deceptive marketing methods, behavioral biases, and cognitive limitations (Abrardi et al., 2021). The following research has examples: Bundorf et al. (2019) conduct a randomized controlled experiment in which participants are given access to a decision-support tool that includes algorithmic suggestions for selecting the most cost-effective insurance plan. The relevance of self-selection was recognized and algorithmic aid enhanced the possibility of switching insurance policies. Those who decided to switch insurance plans had previously intended to do so before the recommendations were made. Those who ignored the advice, on the other hand, would have been in much more need of assistance than those who accepted the guidance (Abrardi et al., 2021)

Discussion

Gupta et al. (2021) draw attention to the negative effects of AI, which may primarily amplify social problems such as discrimination. Their starting point was the potential that the researchers saw in algorithms, which they expected them to have. In my study, I have presented biases in AI and machine learning applications that require rapid and effective remediation. I then presented cognitive biases from which I selected a selection of relevant phenomena. The material presented in this thesis shows that the role of statistical biases is negligible in solving the problem (d'Alessandro et al., 2017). The link between statistical and cognitive biases is tangible in representativeness and availability heuristics. Compared to human decisions, biased algorithms are still more efficient in most cases and contain less bias and noise. The relationship between noise and algorithms could be a possible future research direction (Kahneman et al., 2021). The relationship between algorithms and their rules is also an important issue in this area, which may affect the use of machine learning in several ways, among others.

Acknowledgement

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Artificial Intelligence National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00004).

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00004) keretében.

References

- [1] Abrardi, L., Cambini, C., & Rondi, L. (2021). Artificial intelligence, firms and consumer behavior: A survey. *Journal of Economic Surveys*.
- [2] Angwin, J., Larson, J., Mattu, S., & Kirchner, L. (2016). Machine bias: There's software used across the country to predict future criminals and it's biased against blacks.
- [3] Brynjolfsson, E., Mitchell, T., & Rock, D. (2018, May). What can machines learn, and what does it mean for occupations and the economy?. In *AEA Papers and Proceedings* (Vol. 108, pp. 43-47).
- [4] Bundorf, K., Polyakova, M., & Tai-Seale, M. (2019). *How do humans interact with algorithms? experimental evidence from health insurance* (No. w25976). National Bureau of Economic Research.
- [5] Buolamwini, J., & Gebru, T. (2018, January). Gender shades: Intersectional accuracy disparities in commercial gender classification. In *Conference on fairness, accountability and transparency* (pp. 77-91). PMLR.
- [6] Chander, A. (2017). The racist algorithm?. *Michigan Law Review*, 115(6), 1023-1045.
- [7] Chouldechova, A. (2017). Fair prediction with disparate impact: A study of bias in recidivism prediction instruments. *Big data*, 5(2), 153-163.
- [8] Cowgill, B., & Tucker, C. E. (2019). Economics, fairness and algorithmic bias. *preparation for: Journal of Economic Perspectives*.
- [9] d'Alessandro, B., O'Neil, C., & LaGatta, T. (2017). Conscientious classification: A data scientist's guide to discrimination-aware classification. *Big data*, 5(2), 120-134.
- [10] Davenport, T., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 48(1), 24-42.
- [11] Eisingerné Balassa Boglárka et al. „Buyologic” in stepfamilies. (2012) Megjelent: 3rd Emac CEE Regional Conference pp. 62-69, 2137262
- [12] Gupta, M., Parra, C. M., & Dennehy, D. (2021). Questioning Racial and Gender Bias in AI-based Recommendations: Do Espoused National Cultural Values Matter?. *Information Systems Frontiers*, 1-17.
- [13] Kahneman, D., & Tversky, A. (1972). Subjective probability: A judgment of representativeness. *Cognitive psychology*, 3(3), 430-454.
- [14] Kahneman, D., & Tversky, A. (2013). Prospect theory: An analysis of decision under risk. In *Handbook of the fundamentals of financial decision making: Part I* (pp. 99-127).
- [15] Kahneman, D., Sibony, O., & Sunstein, C. R. (2021). *Noise: a flaw in human judgment*. Little, Brown.

- [16]Letheren, K., Russell-Bennett, R., & Whittaker, L. (2020). Black, white or grey magic? Our future with artificial intelligence. *Journal of Marketing Management*, 36(3-4), 216-232.
- [17]Nickerson, R. S. (1998). Confirmation bias: A ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of general psychology*, 2(2), 175-220.
- [18]Nordhaus, W. D. (2021). Are we approaching an economic singularity? information technology and the future of economic growth. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 13(1), 299-332.
- [19]Pallier, G., Wilkinson, R., Danthiir, V., Kleitman, S., Knezevic, G., Stankov, L., & Roberts, R. D. (2002). The role of individual differences in the accuracy of confidence judgments. *The Journal of general psychology*, 129(3), 257-299.
- [20]Saurwein, F., Just, N., & Latzer, M. (2015). Governance of algorithms: options and limitations. *info*.
- [21]Tucker, C. (2019). Privacy, algorithms and artificial intelligence. In A. Agrawal, J. Gans, & A.
- [22]Goldfarb (Eds.), *The economics of artificial intelligence: An agenda*. University of Chicago Press.
- [23]Tversky, A., & Kahneman, D. (1971). Belief in the law of small numbers. *Psychological bulletin*, 76(2), 105.
- [24]Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive psychology*, 5(2), 207-232.

Trajektória-tervezés önvezető járművek számára nagy felbontású térképek és Autoware segítségével

Trajectory planning for autonomous vehicles with HD Maps and Autoware

Mesics Mátyás

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Az önvezető járművek elterjedésének egyik jelentős hátráltató pontja, hogy kevés információt tudnak a környezetükről és arról, hogy mi veszi körül őket. Hagyományos térképek jellemzően alapinformációkat tárolnak a környezetről, ezek olyan információk, amelyek útvonaltervezéshez és navigációhoz elegendők, viszont nagy pontosságú sávinformációkat és olyan közlekedési elemeket, amelyek fontosak ahhoz, hogy az adott jármű képes legyen betartani minden közlekedési szabályt és összességében elegendő információval rendelkezzen a környezetéről, amivel már képes megtervezni az útvonalát biztonságosan. nem tartalmaznak. A nagy felbontású térképek (HD Maps) ezt a feladatot a térképinformációk pontosításával és több forgalmi elem tárolásával kívánják megoldani. Az HD Map-ek olyan környezetben igazán hasznosak, amikor a jármű szenzorainak jelentősen limitált az érzékelése, például egy komplex városi környezetben, ilyenkor jól használhatóak az előre definiált HD Map-en tárolt információk. Jelenleg több olyan gyártó van, akik a jövőben szeretnék a HD Map-ek fő szolgáltatói lenni, a gyártók között megtalálható sok Navigációs cég is, de vannak más gyártók is, mint például az Nvidia, aki alapvetően más háttérrel rendelkezik. Az HD térképeknek legnagyobb hátráltató pontja, hogy a térképek létrehozása költséges a nagy pontosság megtartása miatt, ezért egy jó alternatívát jelenthetnek az ADAS (Advanced driver-assistance systems) térképek, amiket a költséghatékonyság tehet egy jó alternatívá az HD Map-eknek, mivel, ezek a típusú térképek is hasonló mennyiségben tartalmaznak sávinformációkat és egyéb közlekedési elemeket, azonban a tárolt elemek > 5 cm pontossággal rendelkeznek. Ahhoz, hogy egy alapszintű önvezetést képes legyen megvalósítani az adott jármű, szükség van arra, hogy képes legyen döntéseket hozni dinamikusan változó környezetben, ezért fontos, hogy a járművet körülvevő közlekedési résztvevőket helyesen tudja felismerni és azok lehetséges útvonalait megbecsülni. A jármű csak akkor lesz képes egy megvalósítható trajektóriát tervezni, ha minden pillanatban rendelkezik ezekkel a bemeneti információkkal.

Kulcsszavak: HD térképek, Lanelet2 térképek

Abstract: Self driving vehicles often lack the robust perception that's required to navigate in challenging urban environments. This problem often comes down to the fact that vehicles equipped with state-of-the-art perception sensors and algorithms lack to overall adversity that required to always deliver a precise description of the environment. When it comes to precise description of the environment HD maps excel at this task. HD maps are very similar to often used standard maps, but they deliver much more detailed and precise descriptions of the environment such as highways country roads, and dense urban environments. HD maps are a very useful to global and local trajectory planning, providing a global trajectory is based on the previously described lanes and junctions, and supporting the local planner with description about the drivable road surface.

Keywords: HD maps, Lanelet2 maps, Mapping

HD Map-ek készítése globális trajektória tervező számára

HD Map keretrendszer választása

A cikkben a Lanelet2 [1] keretrendszert választottam. A Lanelet2 keretrendszer egy nyílt forráskódú keretrendszer, ami BSD 3-Clause license alatt elérhető. Talán ez az egyik legelfogadottabb nyílt forráskódú HD Map keretrendszer, ez annak is köszönhető, hogy az Autoware.AI és Autoware.Auto is ezt a térkép keretrendszert támogatja elsősorban. Ezt a keretrendszert a *FZI Research Center for Information Technology* fejlesztette ki eredetileg, jelenleg bárki számára használható és bárki segíthet a Lanelet2 projekt továbbfejlesztésében.

Lanelet2 alapú HD Map-ek készítése

A térképet a ZalaZONE tesztpályán található Egyetemi tesztpályáról készítettük el. A feltérképezés során két darab Ouster OS1 Lidar-t, StereoLabs ZED kamerát és NovAtel RTK GNSS-t használtunk a feltérképezéshez. Az elkészített méréseket rosbag fájlban tároltuk az utófeldolgozáshoz. Az utófeldolgozás során a LIDAR pontfelhőket a rögzített GPS pontok alapján toltuk el egymáshoz képest, ennek a módszernek az az előnye az NDT eljárásokhoz képest, hogy hosszú távon is nagy abszolút pontosságot tud tartani, míg az NDT alapú pontfelhő összeolvasztás nagyobb távolságú feltérképezés során egyre pontatlanabb lesz, emiatt csak a relatív pontossága nagy.

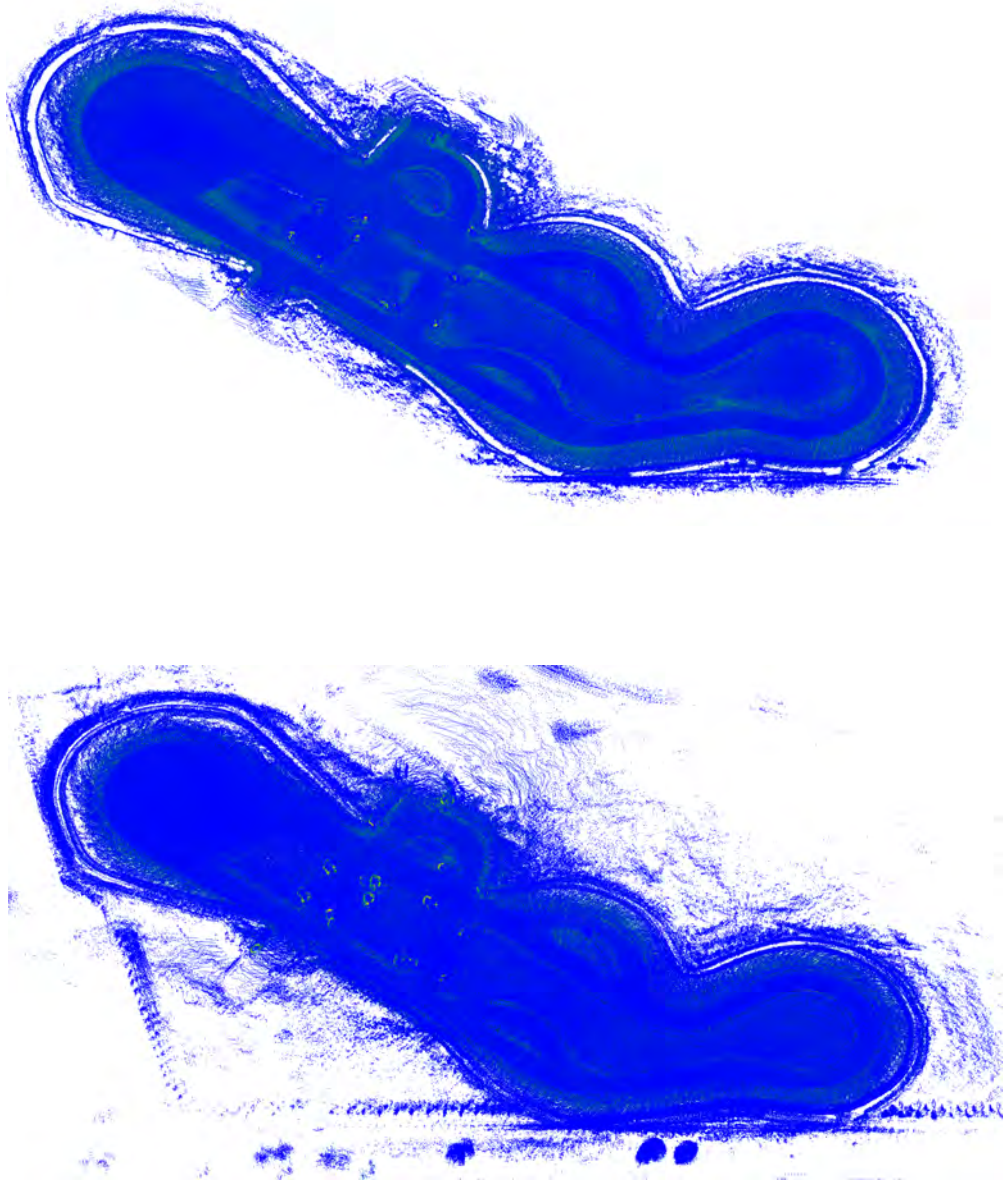
A térképek annotálása során az egyik leggyakoribb probléma, amibe ütköztem az útsávok megállapítása volt. Ahhoz, hogy ezt a folyamatot gyorsítani lehessen, szükség van arra, hogy a pontfelhőn kívül még valami plusz információra is rendelkezésre álljon, ami segít a sávok jól látható elkülönítésében. A kamerakép által rögzített képet, ha kivetítjük a pontfelhőre, akkor tudunk RGB értékeket rendelni a pontfelhőben elhelyezkedő pontokhoz, ez jelentősen felgyorsította az annotálási feladatot, így pontosabb információkat kaptunk a sávokról, ezen felül még további finomításokat lehet végrehajtani a pontfelhőn így pl. Voxel Grid alapú filterezéssel lehet könnyebben értelmezhetővé tenni a pontfelhőt. A filterezés törli a felesleges pontokat az olyan helyekről, ahol túl sok pont gyűlt össze a pontfelhők összeillesztése során, így végül egyenletes lesz a pontok eloszlása a pontfelhőn belül.

Autoware NDT mapping

Az annotáláshoz szükséges pontfelhőket többféle módon is előállíthatjuk, azonban fontos azt szem előtt tartani, hogy minnél jobban értelmezhető pontfelhőt kapjunk eredményként, amelyen a lehető leggyorsabban lehet majd a Lanelet2-es térképeket annotálni. Az alapvető megoldás, hogy az aktuális LIDAR pontfelhőket mindig eltoljuk egymáshoz képest és ezeket illesztjük egybe és végül így kapunk egy pontfelhőt, amelyen látható lesz az egész felmért terület. A megközelítésnek az egyik legnagyobb hátráltató pontja, hogy az elkészült fájlnak túl nagy lesz a mérete, amely később a pontfelhő feldolgozása során fog gondot okozni, ezen felül még további probléma az elkészült pontfelhővel, hogy nehezen annotálható, röviden megfogalmazva nehéz felismerni az útfelületet és az egyéb forgalmi elemeket, amelyekre szükség van a Lanelet2-es térkép elkészítése során. Az Autoware.AI keretrendszeren belül az NDT Mapping csomagot, elsősorban LIDAR pontfelhő alapú lokalizáció-hoz fejlesztették ki, azonban rendelkezik egy olyan opcióval, amelyben a lokalizáció során egy pontfelhőt is épít. Ez a pontfelhő annyiban különbözik az előbb bemutatott megoldástól, hogy az aktuális LIDAR pontfelhőt mindig összevetjük az előző pontfelhővel. Az NDT mapping lényege, hogy az aktuális LIDAR pontfelhők között megtalálja a közös metszetet, ezáltal a kettő közötti orientációt is, ennek köszönhetően az NDT Mapping csomag képes lesz lokalizálni a járművet a kiindulási pont mentén. Miután az NDT Mapping csomag képes megtalálni a közös metszetet a két pontfelhő között, ezért képes arra is, hogy a teljes pontfelhő térképet inkrementálisan növelje ezáltal csak a szükséges pontokat hozzáadva a pontfelhő térképhez. Az NDT Mapping csomagon belül megtalálható több opció, arra nézve, hogy milyen információk alapján végezze a pontfelhőknek az összeolvasztását.

Alapvetően csak a pontfelhőknek az egymáshoz való távolságát és orientációját veszi alapul és az alapján történik a pontfelhőknek az összeolvasztása, ezen felül még lehetőség van IMU (Inertial Measurement Unit) és GNSS adatok felhasználására ahhoz, hogy az aktuális méréseket pontosabban tudjuk összeilleszteni, ennek ellenére a feltérképezés során létrejött pontfelhő koordinátarendszere a kiindulási ponttól értelmezhető ahhoz, hogy a pontfelhőre épített HD térképeket tudjuk használni GNSS alapú lokalizációval. Fontos, hogy a pontfelhő térkép is olyan koordinátarendszerben legyen, amely kivetíthető egy globális koordinátarendszerbe. Erre megoldás lehet, hogy az elkészített pontfelhőnek az origóját definiáljuk a globális koordinátarendszerben, erre a legkézenfekvőbb megoldás, hogy a kiindulási pontot rögzítjük az járművön elhelyezett GNSS szenzor alapján és így konvertáljuk át egy globális koordinátarendszerbe.

A megoldás hátráltató pontja, hogy a végső pontfelhő térképnek a pontossága nagyban függ a GNSS szenzortól kapott pozíció és orientáció pontosságától, így ami a szenzornál még jelentéktelen hibának tűnik, az a pontfelhő térkép legtávolabbi pontjában már akkora hibát eredményez, hogy az elkészült pontfelhő nem lesz felhasználható HD térképek alapjául, ennek a megoldására továbbfejlesztettem az NDT Mapping csomagot. A LIDAR pontfelhőnek az origója eddig mindig az aktuális kiindulási pont volt. A továbbfejlesztés során a feltérképezés elindítása során mindig az aktuális GNSS pozíció és orientáció lett a felépített pontfelhő térképnek az origója. További módosítás volt, hogy az aktuális pontfelhőket mindig a GNSS pozíció és orientáció alapján építjük fel a pontfelhő térképet iterációként, így a végső pontfelhő térképet a GNSS pozíciók és orientációk mentén építjük fel, emellett megtartjuk a NDT Mapping csomag előnyeit.



1.ábra: GPS concat (alul) és Autoware NDT mapping (felül) alapján készült pontfelhő térkép

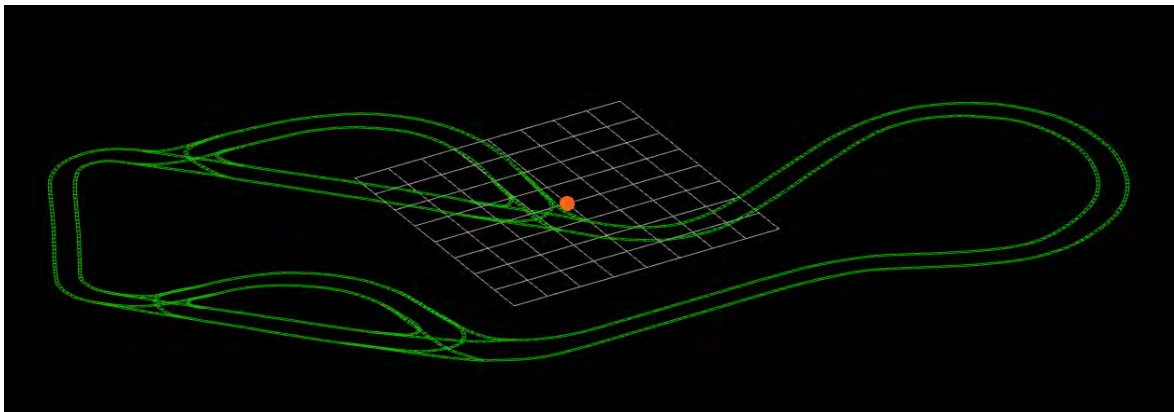
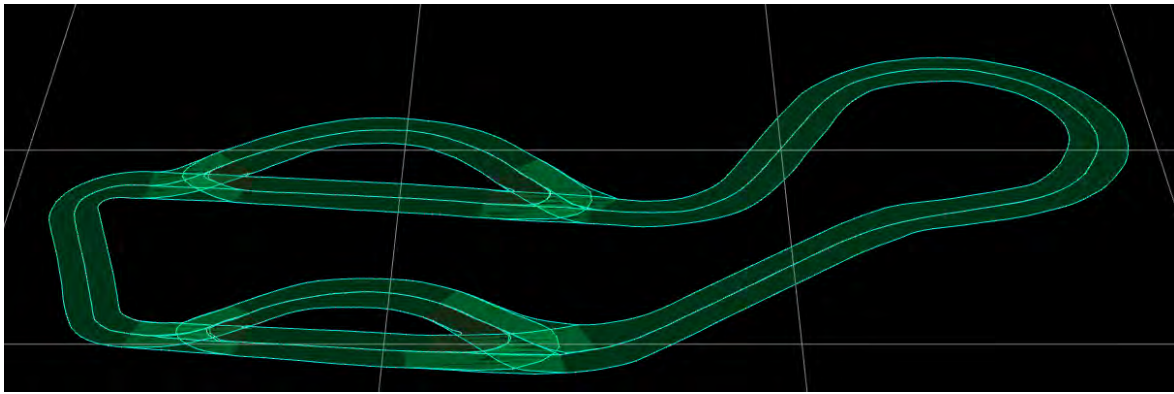
Pontfelhő térkép RGB információkkal kiegészítve

A pontfelhő térkép annotálásához való felhasználása gyakran lassította a HD térképek elkészítését, hogy a pontfelhőn csak térbeli információk láthatóak, erre megoldásként a pontfelhő térképeket RGB információkkal lehet ellátni ahhoz, hogy az alap geometriai információkon felül lássuk a pontoknak az RGB értékeit is, ehhez segítségül hívhatjuk a járművön elhelyezett kamerának a képét, amit fel tudunk használni, ahhoz, hogy a pontfelhő térképen található pontokhoz RGB értékeket tudjunk rendelni. A kamerának a 2D-ben megtalálható értékeit ki tudjuk vetíteni a pontfelhő térképnek a térben elhelyezett pontjaira. Igaz ez csökkenti az adott pillanatban látott LIDAR pontfelhőt, azonban a teljes pontfelhő térkép összeillesztése után a kész pontfelhő térkép könnyebben lesz feldolgozható HD térképek készítésére, mivel pontosabban lesznek láthatóak az adott útfelület határai.



2.ábra: ZalaZone Egyetemi pályának a pontfelhő modellje RGB értékkel ellátott pontokkal

A térképnek az annotálásához a TierIV Vector Map Builder-ét használtam, a sávoknak a pontosítását ebben a szerkesztőben készítettem el ezeket, ezenkívül használtam hozzá az Assure Map Editor-t. Mind a két szerkesztő program képes a Lanelet2-es térképeknek a kezelésére. Az Assure Editor összességében jobb a sávok és egyéb elemek közötti relációk létrehozásában, míg a TierIV Map Editor pedig lehetővé teszi azt, hogy a sávokat poligonként szerkeszthessük. A két szerkesztő programot érdemes lehet felváltva használni, mivel több olyan funkció is van, ami csak az adott szerkesztőben érhető el. Mindkét szerkesztőben elérhető lehetőség, hogy pontfelhőt töltsünk be az adott nézetbe. A Tier IV szerkesztőben lehetőség van az összes forgalmi elem létrehozására és szerkesztésére.



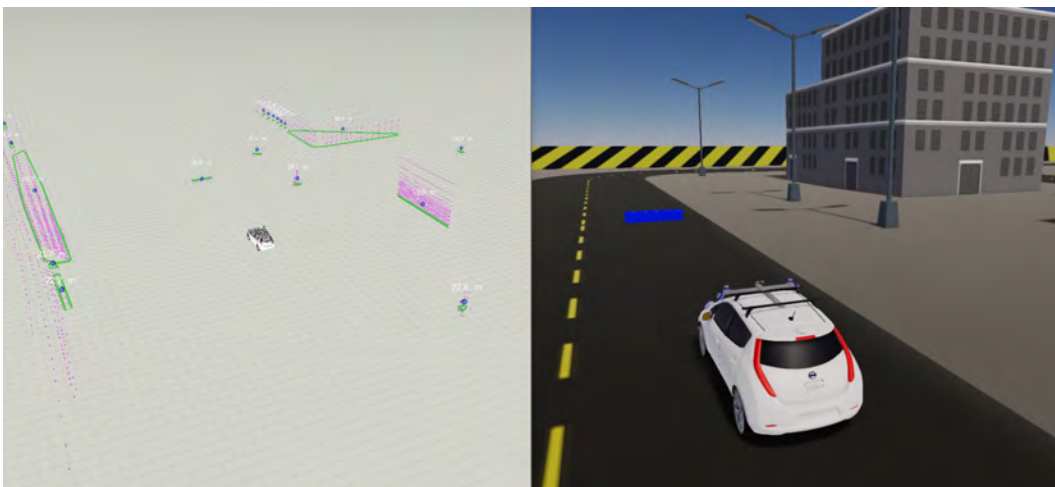
**3.ábra: ZalaZone Egyetemi pálya Lanelet2 térképe TierIV Vector Map Editorban (felső képen),
Assure Map Editor-ban (alsó képen)**

A Lanelet2-es térképek Autoware.AI rendszerben is támogatottak, ezért ezeket használtam fel globális tervezéshez és a környezetdetektálás kiegészítéshez is. A Lanelet2-es térképek további közlekedési elemeket is támogatnak a sávok definiálásán felül. Az adott sávokon belül képes az adott sávirányok megkülönböztetésére is és a sávok sebességhatárának tárolására is, ezenfelül van lehetőség gyalogosátkelőket is definiálni, melyeket a lokális útvonaltervező figyelembe tud venni a sebesség meghatározásához, így nagyobb biztonsággal tud keresztülhaladni egy gyalogátkelőn az adott jármű. Lanelet2-es keretrendszerben forgalmi jelző lámpák definiálására is van lehetőség, ezek az információk azért fontosak, mert segítenek abban, hogy tudjuk az adott jelzőlámpákat sávokhoz kapcsolni, így a detektálás során könnyebb lesz jelzőlámpákat rendelni az adott sávokhoz. A felsoroltak összességében mind olyan lehetőségek, amik az érzékelést könnyíthetik, még lehetőség van olyan területeket definiálni, amik jelzik azt az érzékelés számára, hogy melyek azok területek, amelyek detektálására szükség van a lokális tervező számára. Ahhoz, hogy a Lanelet2 útvonaltervező tudja használni a térképeken belüli relációkat kell létrehozni az egyes sávok között, gyakorlatban szükség van arra melyik sávból melyik másik sáv következik és ennek a fordítottjára is. A relációkat egyelőre egyik szerkesztő sem tudja automatikusan generálni, ezeket manuálisan kell megadni. A két szerkesztő közül ezt jelenleg csak az Assure Map Editor támogatja. A sávrelációkat is a térkép leírást tartalmazó XML formátum tárolja.

Dinamikus trajektória módosítás az útakadályok elkerülésére

Euklideszi klaszterezés használata objektumdetektáláshoz

Amennyiben globális trajektórián objektumot detektálunk az elkerülés megtervezéséhez szükség van az objektum formájának leírására, erre az Autoware.AI keretrendszeren belül az Euklideszi klaszterezés csomagot szokták használni, mivel ez a legelterjedtebb és könnyen használható objektumdetektálásra, mivel nem osztályozza az objektumokat. A csomagnak a bemenete a Ground filterezett LIDAR pontfelhő, kimenete pedig az objektumok és az objektumokat határoló poligon és az adott objektumnak a centroid-ja.

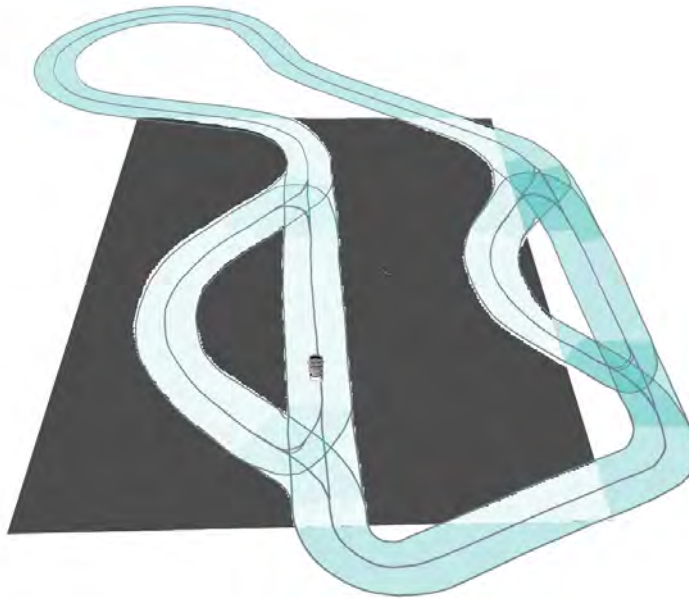


4.ábra: Euklideszi klaszterezés működés közben az LGSVL szimulátorban

Az euklideszi klaszterezés által előállított objektumoknak tudjuk a pontos pozícióját, ezáltal már megtudjuk határozni, hogy az OccopanyGrid-en hol helyezzük el az objektumokat.

Lanelet2-es térképek használata lokális trajektória tervezéshez és környezet detektálás kiegészítésére

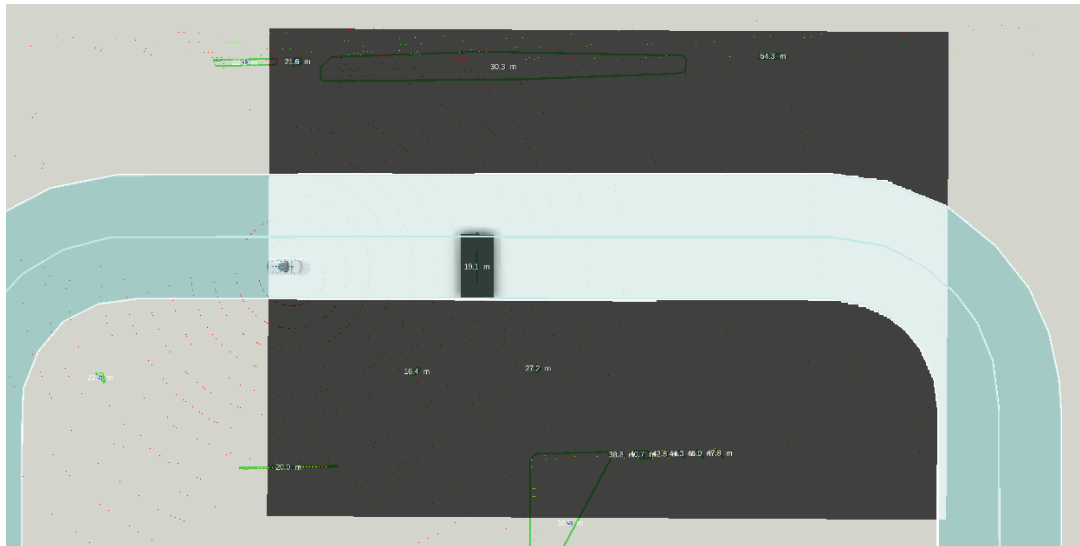
A Lanelet2-es térképek jól használhatóak a környezetdetektálás kiegészítésére, mivel egyben a sávok és a bejárható terület is előre ismert a jármű számára így a lokális tervező számára is ismert a bejárható terület. Az előre definiált járható területen kívül még LIDAR-ok és kamera által detektált területet is ismert. A három bemenetnek a kombinációjából áll össze a végleges terület, ami járható az autó által, ezenkívül a keretrendszer elérhetővé teszi a jármű számára a legközelebbi választható sávot is.



5.ábra: Lanelet2-es térkép használata Occupancy Grid előállításra

Occupancy Grid előállítása A* algoritmus számára

Az Occupancy Grid más néven foglaltsági térkép, egy jól feldolgozható formátum a lokális tervezők számára, mivel funkcionálisan reprezentálja a jármű körül lévő környezetet. Az adatszerkezetét tekintve egy 2 dimenziós tömb, amiben a tömb elemei 0 és 100 közötti értékeket vehetnek fel. Az OccupancyGrid-re tekinthetünk úgy is, mint egy szürkeárnyalatos képre is, melynek a pixelei az adott helynek a súlyát reprezentálják. A tömb elemeinek az értékei az adott mező foglaltságát, bejárhatóságát jellemzik. Az Occupancy Grid összeállításánál első lépés, hogy a járható területet definiáljuk, ezt a legegyszerűbb az aktuális Lanelet2 HD térkép alapján generálni, ezenfelül még szükség van a vezethető területen belül elhelyezkedő akadályokra és objektumokra. Annak érdekében, hogy ezeket az objektumokat nagyobb súllyal jelenítsük meg az OccupancyGrid-en, az euklideszi klaszterezés objektumait lehet a már elkészített foglaltsági térképen elhelyezni. A vezethető területen 0 értéket rendelünk azokhoz a területekhez, amelyek a Lanelet2-es térképek alapján nem járható vagy az euklideszi klaszterezés alapján objektum van ott az index és 100-as értéket kap. Az értékeket az adott Lanelet2 térkép geometriája és az euklideszi klaszterezés poligonja alapján hozzuk létre. Poligonon belüli területek 100-as értékű súlyt kapnak, a poligonhoz közeli területek pedig átmenteket kapnak a maximális 100 maximális értékről a 0-ás teljesen vezethető területig, erre azért is van részben szükség mivel lokális A* tervező ezeket a súlyokat veszi figyelembe, amikor felépíti a legkisebb súlyú trajektóriát, így egy olyan nyomvonalat fog megtervezni, ami jóval nagyobb biztonsági távolságot fog hagyni a jármű mellett.



6.ábra: Occupancy Grid euklideszi klaszterezés objektumaival kiegészítve



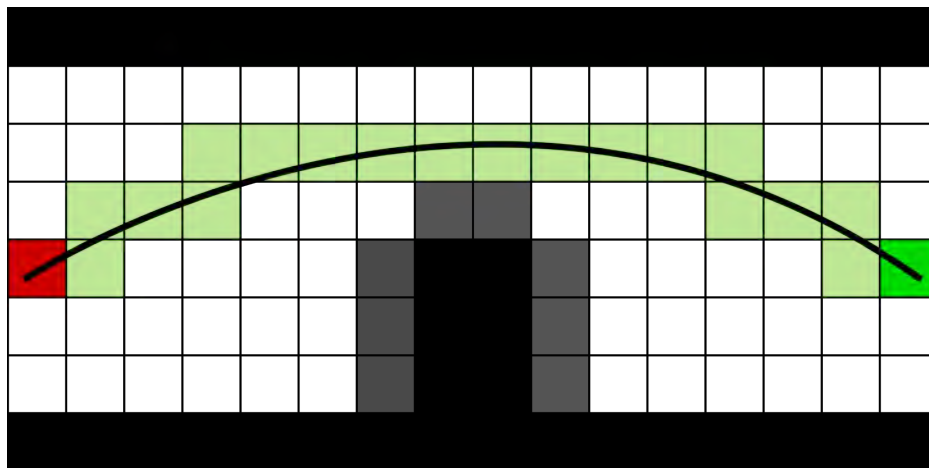
7.ábra: Akadály az LGSVL szimulátorban

A* algoritmus trajektória tervezéshez

A fent említett feltételek közül az, hogy a jármű számára egy mindig lekövethető útvonalat tervezzen az algoritmus jelenleg még nem teljesül. Annak okán, hogy az algoritmus csak a rácshálón belül keres útvonalat, az algoritmus nem lesz képes olyan útvonalat tervezni, amelyet végre tudna hajtani az adott jármű. A probléma kiküszöbölésére a legegyszerűbb megoldás az lenne, hogy az elkészült útvonalat egy spline interpolációval finomítjuk.

A megoldás azonban behozna még egy olyan problémát, hogy az adott programrész, ami a spline interpolációt végzi, nem tud számolni, azzal, hogy az Occupancy Grid-en hol helyezkednek el akadályok, így gyakran megtörténhetne az, hogy az adott nyomvonal simítás során újra bekerül egy akadály a végleges trajektóriába, így egy végtelen körbe kerülne az algoritmus.

A problémának a megoldására egy olyan megoldást kell bevezetni, ami az A* algoritmus-ba van építve, így maga az útvonaltervező eleve olyan nyomvalakon belül keres útvonalat, amik mind teljesítik a jármű dinamikai feltételeit. mind pedig nem tartalmaznak akadályt. Az Autoware.AI keretrendszeren belül ennek a problémának a megoldására vezették be, hogy az A* algoritmus-on belül köríveket vesznek fel, amelyek paraméterei előre definiálhatóak a jármű paraméterei alapján. Amennyiben az algoritmus ezeknek a köríveknek a mentén keres útvonalat, akkor garantált, hogy olyan végső trajektóriát fog találni, amely megfelel a jármű dinamikai követelményeinek.



8.ábra: A* algoritmus körívek tervezett útvonala

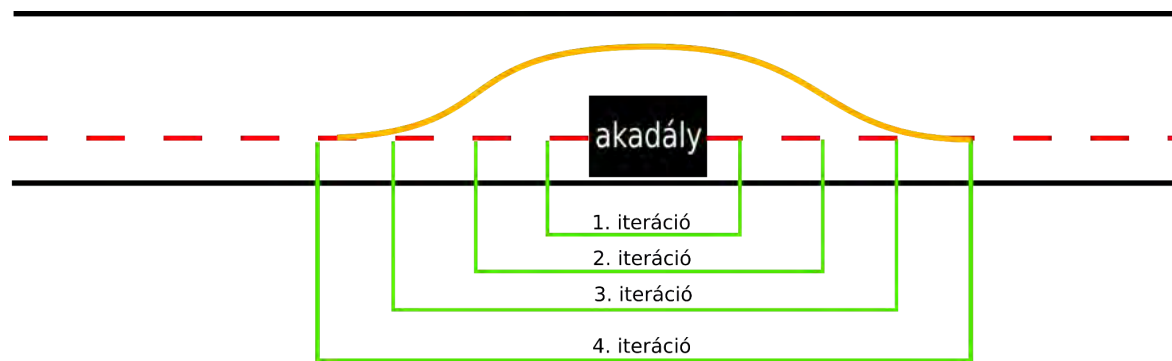
Az Autoware.AI keretrendszeren belül implementált A* kereső algoritmus a köríveket az Occupancy Grid aktuális mezőjéből kiindulva vizsgálja meg, hogy melyek azok a mezők, amelyek megfelelnek az előre definiált köríveknek, így ezek mentén keresi az aktuálisan legkisebb súlyú mezőt. Az útvonalkeresés során elképzelhető, hogy nem találunk olyan útvonalat, amely nem tudja kielégíteni azt a feltételt, hogy a tervezett trajektória teljesen szabad legyen, ne tartalmazzon akadályt, illetve azt, hogy a jármű számára is megvalósítható legyen a tervezett útvonal. Ebben az esetben az A* algoritmus nem ad vissza megoldást, csak annyit közöl a kapcsolatban lévő ROS Node-okkal, hogy nem volt képes útvonalat tervezni. Az Autoware AI keretrendszerben bemutatott A* útvonaltervező algoritmus paraméterezése is az előbb bemutatott megoldások mentén történt.

A* algoritmus start és célpont kijelölése

Az A* algoritmusnak szüksége van egy olyan mezőre az Occupancy Grid-en, amelyik mezőről el tudja kezdeni a keresést és kell egy ehhez hasonló mező, ahol pedig be tudja fejezni az útvonal keresést. Az Autoware.AI implementációban a start és célpont kijelölése iterációval történik.

Amennyiben akadályt detektálunk a globális trajektórián, abban az esetben az akadályhoz legközelebbi nyomvonal pont +2 nyomvonal pont lesz a célpont, illetve a jármű jelenlegi pozíciója lesz a kiindulási pont. Amennyiben az A* algoritmus nem tud útvonalat tervezni az adott start és célponttal abban az esetben az adott távolságot megnöveljük az előre definiált mértékben és ebben a mértékben fogjuk eltolni a célpontot. Abban az esetben, ha az így módosított start és célponttal sem találtunk célpontot abban az esetben tovább iterálunk, egészen addig, ameddig az A* algoritmus nem képes útvonalat tervezni. További esetben, amikor az algoritmus nem képes útvonalat tervezni és az iteráció is véget ér, akkor az akadály előtti nyomvonal pontot jelöli ki végső megállóhelynek.

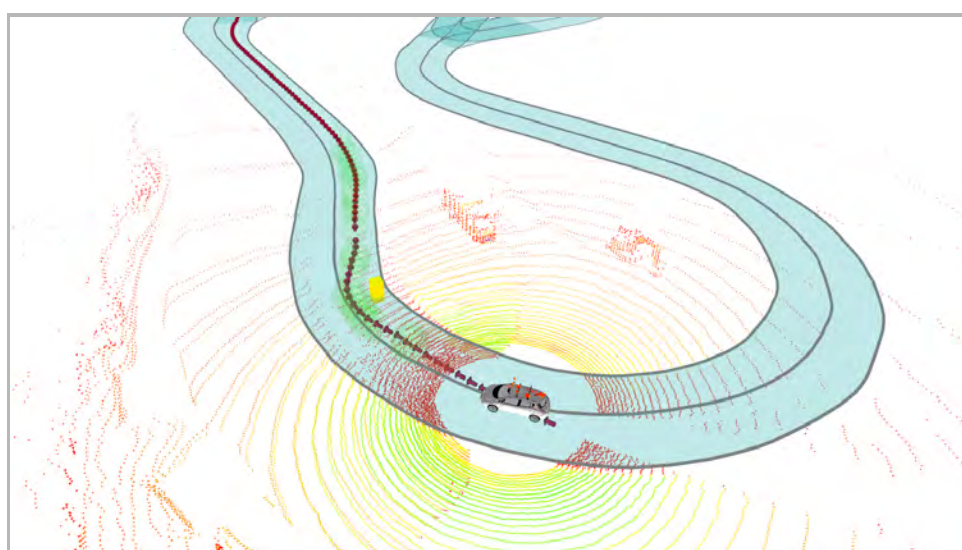
A szimulációs tesztek tapasztalata alapján megállapítható volt, hogy amennyiben mindig az autóhoz legközelebbi nyomvonal pontot választjuk ki kiindulópontnak, sokszor előfordulhat, hogy jóval hosszabb kikerülést fog tervezni az autó, mint amekkora ideális vagy szükséges lenne, ehhez úgy módosítottam az algoritmust, hogy a kiindulási pozíciót is iterálással jelöltem ki. A megoldással biztosítható az, hogy a globális trajektória és a kijelölt kezdő pozíció között a lehető legkisebb eltérés lesz csak. A kiindulási pozíció kijelölése során, a globális trajektóriáról úgy jelölök ki pontot, hogy megkeresem az akadályhoz legközelebbi pontot és ettől a ponttól az előre megadott paraméterek alapján a kiindulási pont -2 távolságra lesz a kiindulási pont a globális trajektórián. Amennyiben az első iterációban nem talált olyan útvonalat, ami megfelel a feltételeknek tovább iterálunk és növeljük az eltolási távolságot az akadályhoz képest, egészen addig, amíg nem találunk olyan útvonalat, amely megfelel a trajektória követelményeinek.



**9.ábra: Ábra a kiindulási és célponttól iterációként.
Piros szaggatott vonallal a globális trajektória
Folytonos narancssárga színnel a megtervezett elkerülés.**

Tesztelés előzetes méréseken

Az első teszteléseket és fejlesztéseket elsősorban az előzetes méréseken végeztem. Az ROS keretrendszerben lehetőség van elkészíteni úgynevezett ROSBAG fájlokat, melyeket a mérések során lehet rögzíteni a fájlba. A rögzített fájlokat lehetőség van visszajátszani és úgy felhasználni, mintha ezt aktuálisan a járművön található rendszerrel látnánk. A méréseket a ZalaZone tesztpálya - Egyetemi pályamodulján rögzítettük. Amikor ezeket méréseket rögzítettük nem volt a pályán semmilyen akadály, így mivel a globális trajektórián nem volt akadály, ezért az A* útvonaltervező nem is indult volna el, ezért szükség volt létrehozni egy virtuális akadályt, ehhez az Autoware.AI LIDAR fake perception csomagját használtam, amellyel lehetőség van a mérések során rögzített LIDAR pontfelhőn új akadályokat, azaz új pontokat létrehozni, ezzel az eszközzel már képes voltam tesztelni az A* algoritmust.

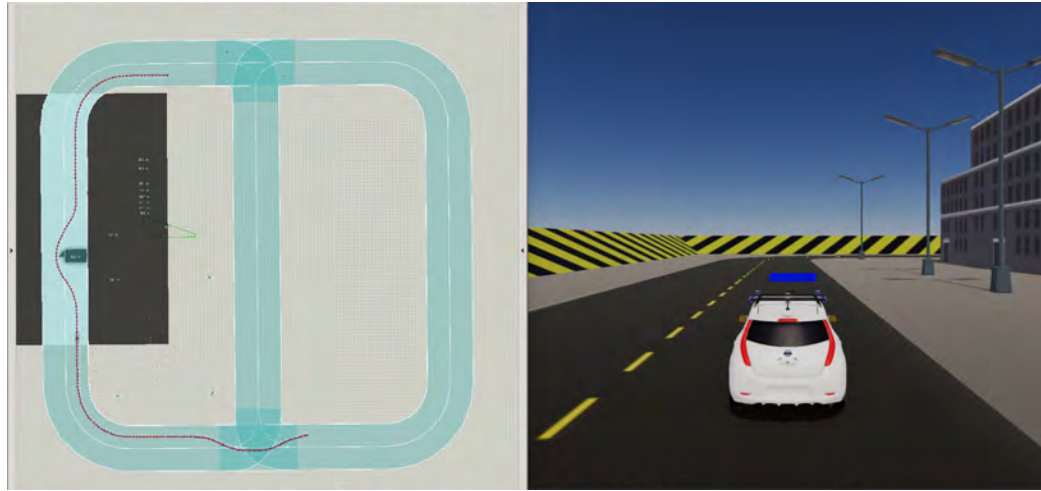


10.ábra: A* algoritmus által tervezett elkerülés, tesztelve az előzetes méréseken és a Lidar fake perception csomaggal kiegészítve

A tesztek során az algoritmus képes volt megtervezni az elkerüléshez szükséges útvonalat, azonban az is látható volt, hogy még további fejlesztésekre és szimulátoros tesztekre lesz szükség, amíg ezt valós tesztjárművön tesztelhetjük. A legelső probléma az algoritmus futási ideje volt, amit mindenképp szükséges lesz csökkenteni, mivel az első próbálkozások során túl sok időbe telt. További probléma volt, hogy az elkészített trajektória túlságosan megközelítette az akadályt, mivel a nyomvonalpontoknak a lekövetése mindig tartalmazhat hibát és a gyakorlatban tartalmaz is, ezért ez olyan veszélyforrást épít bele a trajektóriába, amit minél fontosabb elkerülni már a trajektória tervezés fázisában. Összességében az első teszt sikeres volt, mivel sikerült az algoritmusnak megterveznie egy elkerülést, ez volt elsősorban a legfontosabb lépés, de ezek mellett azt is fontos felismerni, hogy mik azok az elemek, ahol még javítani kell ahhoz, hogy tesztelni tudjunk a valós járművön.

Tesztelés a szimulációban

A szimulációban való tesztelés során az LGSVL Cube Town nevű modellpályán teszteltem első körben, amely egy kétsávos külvárosi környezetet hivatott vizualizálni, amelyen megtalálhatóak kétirányú útvonalak, ezenfelül bizonyos helyeken megtalálhatóak a sáv közepén adott akadályok, amelyeket a járműnek el kell majd kerülnie. A tesztelés során első körben az volt a feladat, hogy a jármű képes legyen a globális trajektórián maradni, majd amennyiben az úton akadály van elhelyezve, képes legyen azt felismerni, majd ezek alapján megtervezni az akadály biztonságos elkerülését. Az LGSVL szimulátorban lehetőség van a járművet irányítani *twist* üzenetekkel. A *twist* üzenetek tartalmazzák a járműtől elvárt sebességet, illetve az elvárt kormánysszöveget is. Az útvonaltervező által létrehozott trajektóriából az MPC (Model Predictive Control) csomaggal vagyunk képesek kormánysszöveget létrehozni az előre meghatározott nyomvonalpontok alapján. A szimulátorban az első tesztek során az útvonaltervező képes volt detektálni, illetve megtervezni az elkerülést, azonban az egyértelmű volt, hogy az aktuális rendszer nincs készen a valós tesztjárművön való tesztelésre. Az első szimulációs tesztek során elsősorban az elkerülés nyomvonalának a megtervezésével akadt a legtöbb probléma. A tervezés során az A* útvonaltervező olyan útvonalat tervezett amely nem volt megvalósítható vagy kihasználta a jármű dinamikai határait, így a jármű sem volt képes megtartani a megtervezett útvonalat. A tervezésnél az is problémát jelentett, hogy a megtervezett elkerülés túl későn jelent meg a nyomvonal követést végző MPC szabályzón, így nem tudta a járművet a kijelölt trajektórián tartani.



11.ábra: A megtervezett trajektória a baloldalon Rviz programban vizualizálva

A legtöbb probléma továbbra is visszavezethető volt az A* algoritmus futási idejére, mivel az útvonaltervezés késése nagyon nagy hatással van arra, hogy milyen távolságra vagyunk az akadálytól, illetve ezáltal arra is, hogy a megtervezett elkerülés nyomvonalpontjai mennyire lesznek könnyen lekövethetőek.

További gondot okozott a kutatás során a start és célpont kijelölés. Az A* algoritmus kiindulópontja mindig a járműhöz legközelebbi nyomvonalpont a globális trajektórián, ezekkel az volt a probléma, hogy sokszor előfordult olyan eset, amikor a jármű az akadály előtt már 30-35 méterrel észlelte az akadályt és kikerülést is tervezett, de mivel a járműhöz legközelebbi globális nyomvonalpontot választotta kiindulási pontnak, ezért az akadálynak az elkerülését nagyon hamar kezdte meg az ideálshoz képest, ennek a megoldására a kijelölt kezdőpozíciót módosítottam. Az új módosított kezdőpozíció kijelölését az *A* algoritmus trajektória tervezéshez* fejezetben fejtettem ki bővebben.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00004) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Artificial Intelligence National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00004).



RRF-2.3.1-21-2022-00002

Konzorciumvezető:

Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (SZTAKI)

Konzorciumi partnerek:

- Széchenyi István Egyetem (SZE)
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

A projekt teljes összege: 6 227 207 003 Ft

Támogatási összeg (SZE): 1 496 077 177 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2022.04.01. – 2025.12.31.

Projektismertető:

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium tevékenysége alapvetően közúti járművek, légi járművek és drónok, valamint robotok és kiber-fizikai gyártórendszerek különböző szintű autonóm funkcionalitásának és irányításának alap- és alkalmazott kutatásával foglalkozik.

Fő tématerületek a modellezés, modellredukció és modell identifikáció, az adaptív, robusztus, valamint az elosztott és hálózatba kapcsolt rendszerek irányítása. A projekt kiemelt feladata továbbá a kooperatív rendszerek kutatása, amely a földi és a légi járművek biztonságos együttműködését, valamint az emberközpontú gyártásautomatizálást, különösen az ember-robot együttműködést megvalósító alkalmazásaiban testesül meg.

Weboldal: <https://autonom.nemzetilabor.hu/hu>

A projekt megvalósítását Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatja az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

Elektromos Gokart BMS fejlesztés

Electric Gokart BMS development

Gulyás Péter^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Az elektromobilitás versenysportban való megjelenése olyan igényeket is támaszt melyek korábban még nem voltak jelen. Az elektromos hajtások biztonságos akkumulátoros üzemeltetése csak és kizárólag akkumulátor felügyeleti rendszer integrálásával garantálható. A biztonságos üzemeltetésen felül megnövelhető a használatban lévő akkumulátorcellák élettartama is, valamint lehetőség nyílik komplex diagnosztika elvégzésére is az akkumulátor csomag megbontása nélkül. A jelen cikkben bemutatott panelterv egy olcsón és gyorsan gyártható felügyeleti rendszert mutat be, mely 16 cella kezelésére képes és bármilyen CAN busszal rendelkező járműrendszerbe csatlakoztatható.

Kulcsszavak: BMS, akkumulátor, gokart, CAN, diagnosztika

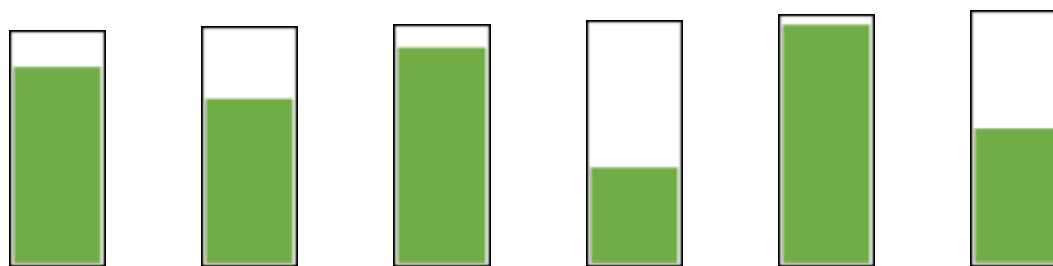
Abstract: As electro mobility appeared in motorsport it set requirements, which earlier have not been present. The secure operation of battery powered electric drivetrains could only be guaranteed with the integration of a battery management system. In addition to secure operation, the lifetime of battery cells could be increased as well as having the possibility to do complex diagnostics without opening any of the battery packs. This paper presents a management system which can be easily and cheaply manufactured, able to handle 16 cell battery packs and attachable to any vehicle system with CAN-bus.

Keywords: BMS, battery, gokart, CAN, diagnostics

Akkumulátor felügyeleti rendszerek

Az akkumulátor felügyeleti rendszerek jelenléte alapvető elvárás egy olyan szigetüzemű eszköz üzemeltetésekor, melyet valamilyen kevert elrendezésű lítium alapú akkumulátor rendszerrel szereltek fel. A kevert elrendezés utal a sorosan és/vagy párhuzamosan összekötött akkumulátor elrendezésre.

A lítium akkumulátorok gyártásakor létrejött minimális kémia különbségből adódóan, több azonos típusú sorba kötött cella terhelése esetén, a cellák feszültsége egyenetlenül változhat (lásd 1. ábra).



1. ábra: Egyenetlen feszültség szintek az akkumulátor csomagban

Nagyáramú terhelés esetén akár a lítium (pl. Li-Ion vagy LiFePo₄) alapú akkumulátor csomag szétesésűsása is bekövetkezhet és ez egyes celláknál akár túlmerítést is eredményezhet, aminek során az adott akkumulátor cella veszít élettartamából, legrosszabb esetben pedig cserére szorulhat. Felügyeleti rendszer nélkül végzett töltés közben egy ilyen szétesésűt akkumulátorcsomagban, az erősebb cellák könnyedén túltöltődhetnek és tüzeset is keletkezhet, mely jelentős anyagi kárral jár. A nagy cellaszámú akkumulátor rendszereket ezért szükséges ellátni olyan felügyeleti rendszerrel, mely mind a kisütési, azaz felhasználási, mind a töltési időszakban is felelős a cellák egységes védelméért és az akkumulátorcsomag kiegyensúlyozottságáért. A töltés közbeni kiegyenlítés során a cellák feszültség szintjétől függően egy integrált áramkör képes beavatkozni. A kiegyenlítés módja elektronikailag két nagy csoportba osztható. Aktív kiegyenlítés, melynek során az akkumulátorcsomagban szereplő akkumulátorok egymás közt is képesek energia átadásra vagy passzív kiegyenlítés, melyben a túltöltött akkumulátor cellák fölös energiáját hővé disszipálja az áramkör.[1] Míg az aktív rendszerek energiahatékonyabbak, sokkal drágább azok megvalósítása és a meghibásodás veszélye is nagyobb, ezért a cikkben egy passzív kiegyenlítő rendszert mutatok be. A legfontosabb elvárás egy ilyen rendszerrel szemben, hogy az akkumulátor névleges paramétereit figyelemmel kísérje, melyből következtethető a szükséges logikai működés. A vizsgált paraméterek az egyedi cellafeszültség és a hőmérséklet.

A paraméterek aktuális és múltbéli ismeretében lehetőség nyílik az akkumulátorcsomag élettartamát és az üzembiztonságot is növelni. Amennyiben árammérővel is kiegészül a felügyeleti rendszer úgy az aktuális töltöttségi állapot és a pontos hátralévő kapacitás is számítható a rendszerben.

Nagy cellaszámú rendszerek esetében szükséges kisebb blokkokra bontani a rendszert, annak érdekében, hogy minden celláról pontos információt kaphassunk, mert a piacon kapható integrált áramkörök csak korlátozott számú cella egyidejű kezelésére képesek. Később ezek a blokkok összefűzhetők és egy kommunikációs interfészen keresztül biztonságosan elérhetők. A cikkben bemutatott fejlesztés is ezt a megoldást alkalmazza, melynek során egy vezérlő és több sorba kapcsolt alegység működik közösen. A megvalósítás során használt, az Analog Devices által gyártott LTC6811 típusú [2] integrált áramkörből több mint 200 darab is sorba kapcsolható az ISO-SPI kommunikációs protokollnak köszönhetően, így a vezérlőegység univerzális lehet a gokart bővítése vagy az akkumulátor teljesítményének növelése esetén is.

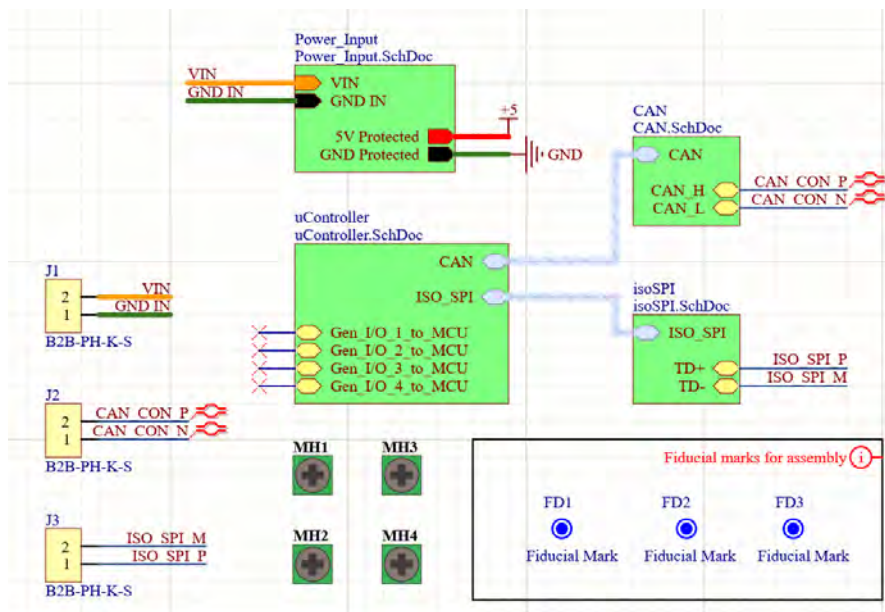
Fejlesztett eszközök

A panelek fejlesztését az Altium Designer szoftverben végeztem, melyben összeállítottam a logikai kapcsolásokat, valamint elkészítettem a kétrétegű panelek tervét. A tervezés során figyelembe vettem az alkatrészek beszerzési lehetőségeit, a méret minimalizálást, miközben egy egyoldali szereléssel gyártható panelt készítettem. A panelek fejlesztése összesen három panelt foglal magában, melyek egy rendszerként megfelelnek a korábban támasztott minden elvárásnak, valamint ellátnak minden szükséges funkciót. A panelek részletes leírása az alábbi táblázatban olvasható (lásd táblázat).

Panel neve	Feladata
BMS vezérlő	CAN busz és ISO-SPI protokollok kezelésére alkalmas vezérlőegység
BMS alegység	8 cellánként csoportosított mérő és logikai vezérlő
BMS kiegyenlítő	8 cellánként csoportosított 500mA kiegyenlítő áramra méretezett nagyteljesítményű ellenállásokkal ellátott kiegyenlítő panel

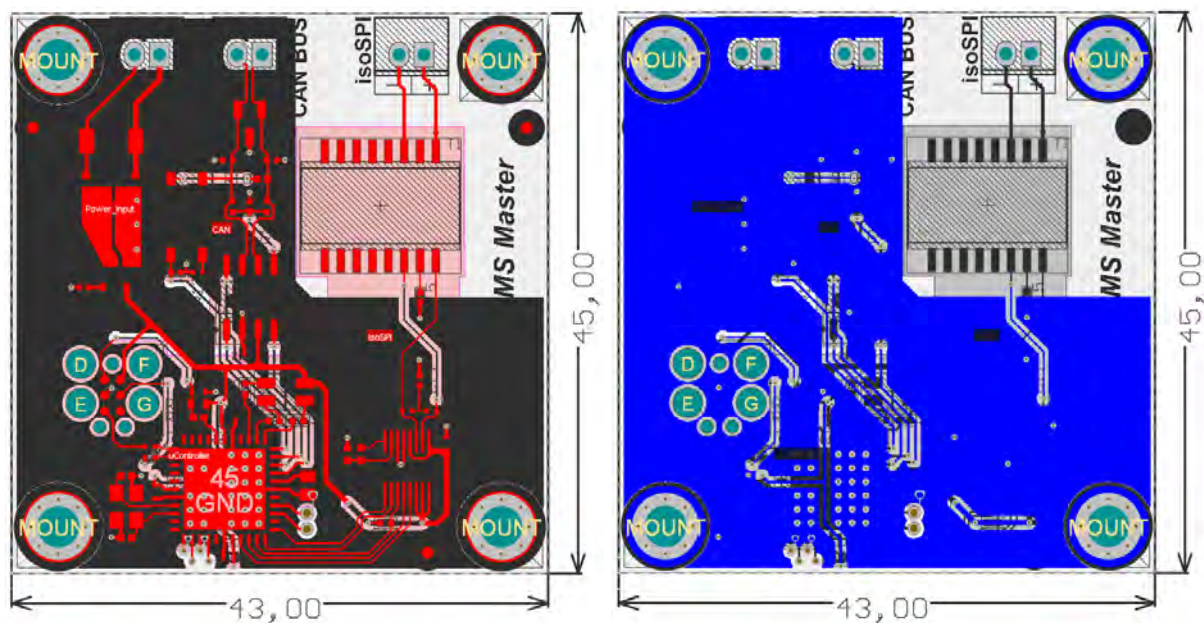
1. táblázat: A fejlesztett panelek funkcionális leírása

A BMS vezérlőpaneljának tápellátását kívülről kell biztosítani 5V-os feszültség szinten, melyet a panelen belül túlfeszültségvédelemmel és zavarűréssel láttam el. A mikrovezérlő egy a Microchip által gyártott 44 érintkezővel rendelkező integrált áramkör, mely SPI és CAN kommunikációra egyaránt képes (lásd 2. ábra).



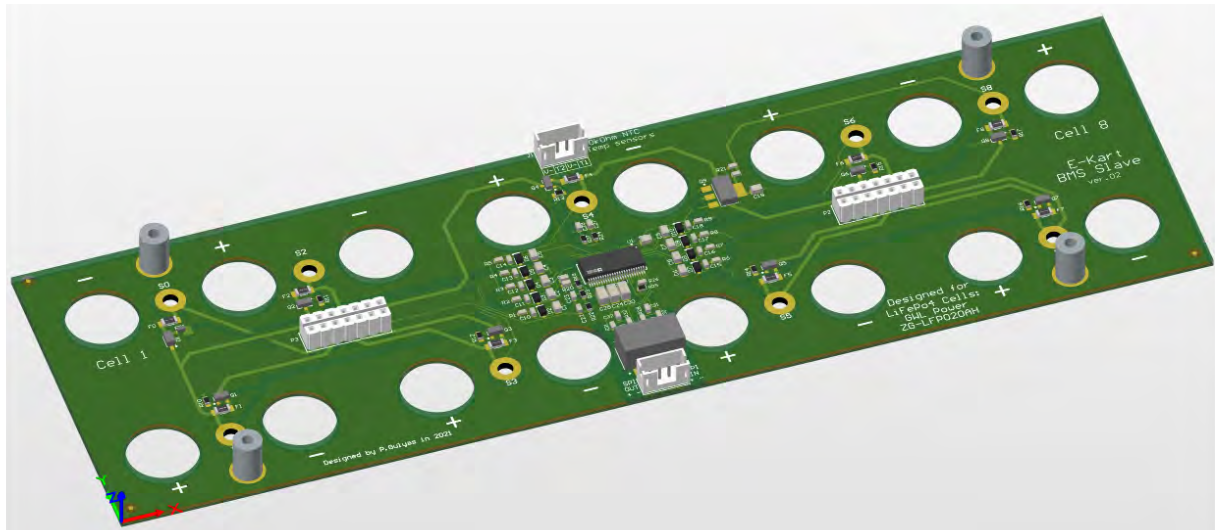
2. ábra: A BMS vezérlő paneljának áttekintő ábrája

A méret minimalizálása érdekében minden diszkrét alkatrészt 0402-es méretben válogattam össze. A járműipari alkalmazást figyelembe véve a rezgésre és rázkódásra való tekintettel, olyan csatlakozókat választottam melyek, valamilyen rögzítő elemmel vannak ellátva a biztos kapcsolat érdekében, ezenfelül a panel rögzítését négy darab M3-es csavarral készítettem elő. A paneltervezés végére sikerült a panelt egyoldalú beültetés mellett, 43mm x 45 mm-ben minimalizálni, melynek eredménye alább látható (lásd 3. ábra).



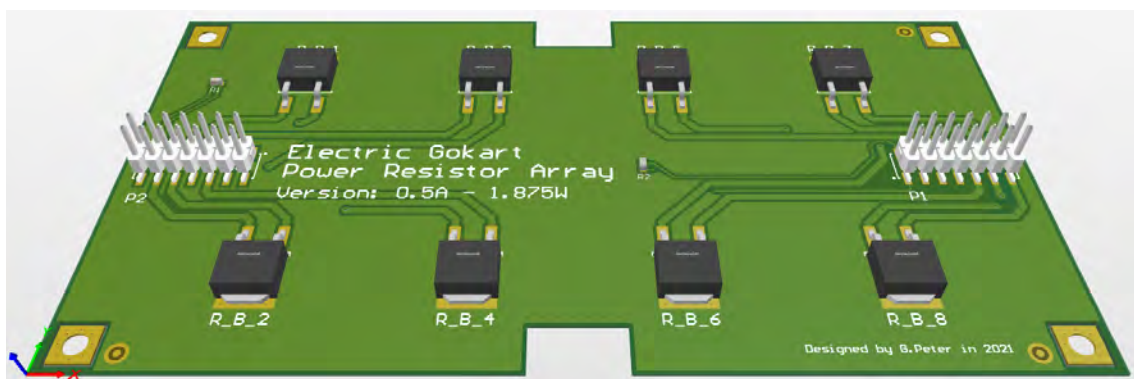
3. ábra: A BMS vezérlő paneljának alsó és felső rétegi panelterve

Az alegység kialakításánál az volt a legfontosabb kritérium, hogy a menetes szárákkal rendelkező GWL által gyártott ZG-LFP020AH típusú akkumulátorokhoz [3] illeszkedjen. Az illesztést és az egyedi cellafeszültségek mérését mindenhol csavarkötésekkel biztosítottam. Az elkészült panel, az integrált felügyeleti IC-vel együtt a mérések alapján 0,24%-os átlagos mérési hibával rendelkezik, mely a célalkalmazásban megfelelő pontosságot nyújt. Az alegység háromdimenziós vizualizációja az alábbi ábrán látható (lásd 4. ábra).



4. ábra: A BMS alegység vizualizációja

Az alegység működéséhez elengedhetetlen a kiegyenlítő ellenállás hálózat csatlakoztatása, mely működés közben hőterheléssel jár. A hőterhelés leválasztásának érdekében már a tervezés elején elkülönítésre kerültek a terhelendő teljesítményellenállások, így a mV-os felbontású feszültségmérést sokkal kisebb mértékben befolyásolja a kiegyenlítéskor keletkező hő. Az elkülönített egy oldalú panel rögzítése hővezető szivacs segítségével hatékonyabb hűtést tesz lehetővé, mintha az alegység mellé közvetlenül kerültek volna integrálásra a kisütő ellenállások. A külön panelen megvalósított kiegyenlítő hálózat az alábbi vizualizáción látható (lásd 5. ábra).



5. ábra. A BMS kiegyenlítő paneljének vizualizációja

Az ellenállások cseréjével lehetőség van akár más cellatípusokhoz megfelelő panelt is gyártani, melyben a kiegyenlítő áram mérete egészen 1A-ig felemelhető, mely már 4W hűtési teljesítményt igényel cellánként. A megfelelő hűtés érdekében, ezt a panelt több száz hűtő via-val láttam el, ezzel biztosítva a gyors és egységes hőeloszlást.

Beágyazott rendszer

Az akkumulátor felügyeleti rendszer szívéét képező mikrovezérlőn futó szoftver a beágyazott rendszer. A beágyazott rendszer skálázható mikrovezérlő sebességgel (8MHz - 64MHz) került megvalósításra, valamint a maximális energiahatékonyság érdekében, mélyaltatásra is van lehetőség, ha a feltételek adottá válnak a mikrovezérlő környezetében. Implementálásra került az autóiiparban is használt CAN busz rendszer [4], hogy az eszköz csatlakoztatható legyen bármilyen hasonló járműipari környezetbe is. A felügyeleti rendszer 20 Hz-en ismétlődő CAN üzeneteinek felosztását az autóiiparban alkalmazott leggyakoribb megoldásoknak megfelelően strukturáltam, melyet az alábbi táblázat foglal össze (lásd 2. táblázat).

Üzenet leírása	CAN ID felépítés	CAN ID példa
BMS általános információk: Cella típus, konfiguráció, rendszer információk	alap azonosító	200
Diagnosztikai kódok ()	+7	207
Cella feszültség (Min-Max-Átlag)	+1	201
Hőmérséklet (Min-Max-Átlag)	+2	202
Kiegyenlítés állapota	+3	203
Cella szintű egyedi értékek	+32	232

2. táblázat. CAN üzenetek strukturális bontása

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] Davide Andrea: *Battery Management Systems for Large Lithium-ion Battery Packs*
Artech House, 2010, p 79.
- [2] Analog Devices LTC6811 IC adatlap:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LTC6811-1-6811-2.pdf>
- [3] GWL ZG-LFP020AH akkumulátor adatlap:
https://files.gwl.eu/inc/_doc/attach/StoItem/4011/Datasheet_ZG-LFP020AH.pdf
- [4] Dr. Fodor Dénes, Dr. Szalay Zsolt: *Autóipari kommunikációs rendszerek*
Pannon Egyetem, 2014, p. 120-121.

Energiahatékony háromfázisú motorvezérlő nyomtatott áramkör tervezése

Energy efficient three-phase motor controller printed circuit design

Gyórfy Richárd

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Ebben a cikkben egy energiahatékony háromfázisú motorvezérlő nyomtatott áramkör tervezése kerül bemutatásra. A motorvezérlő felé támasztott követelmény, hogy egy BLDC motor hajtására képes legyen a lehető leghatékonyabb módon. A célalkalmazásban egy elektromos energiahatékony versenyjármű hajtását szolgálja az eszköz, így a lehető legnagyobb mértékben szükséges a fogyasztásának minimalizálása, ez a megfelelő módon kialakított tápforrás biztosításától, a teljesítményfokozat kapcsolóelemeinek kiválasztásáig megvalósult.

Kulcsszavak: motorvezérlés, energiahatékony

Abstract: In this article, the printed circuit board of an energy-efficient three-phase motor controller is presented. The requirement for the motor controller is that it should be able to drive a BLDC motor with and without sensors. In the target application, the device is used to drive an electric energy-efficient racing vehicle, for this reason it is necessary to minimize its power consumption as much as possible. This was achieved from the provision of a properly designed power source to the selection of the power stage switching elements.

Keywords: motor control, energy-efficient

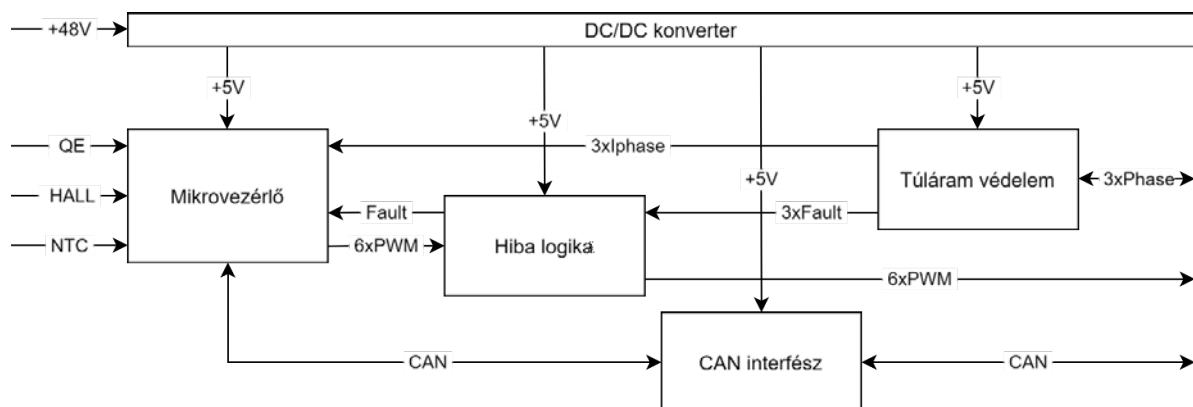
Bevezetés

A SZEnergy Team a győri Széchenyi István Egyetemen működő hallgatói versenycsapat, amely évről-évre részt vesz a Shell Eco-marathon energiatakarékosági versenyen. A verseny célja, hogy a csapatok a versenytávot a legkevesebb üzemanyag vagy elektromos energia felhasználásával tegyék meg. A versenyjármű legnagyobb fogyasztója a hajtást végző elektromos motor, melynek magas hatásfokú munkapontokban történő üzemeltetése alapfeltétel. Ezt egy motorvezérlő segítségével valósítjuk meg, amely elektronikai egység hatékonysága is kulcsfontosságú a rendszer teljes fogyasztását tekintve, így egy olyan motorvezérlőre van szükség, mely alapfogyasztása alacsony, a veszteségek minimalizálására képes, továbbá különleges funkcióinak segítségével még tovább csökkenthető az energiafelhasználás.

A tervezett motorvezérlő felépítése

Az általam tervezett motorvezérlő két nyomtatott áramköri lapból áll össze, melyek csatlakozókkal kapcsolódnak egymáshoz. Az egyik a teljesítményfokozat, a másik a teljesítményfokozatot vezérlő logikai panel.

A logikai panel felépítését az 1. ábra mutatja.

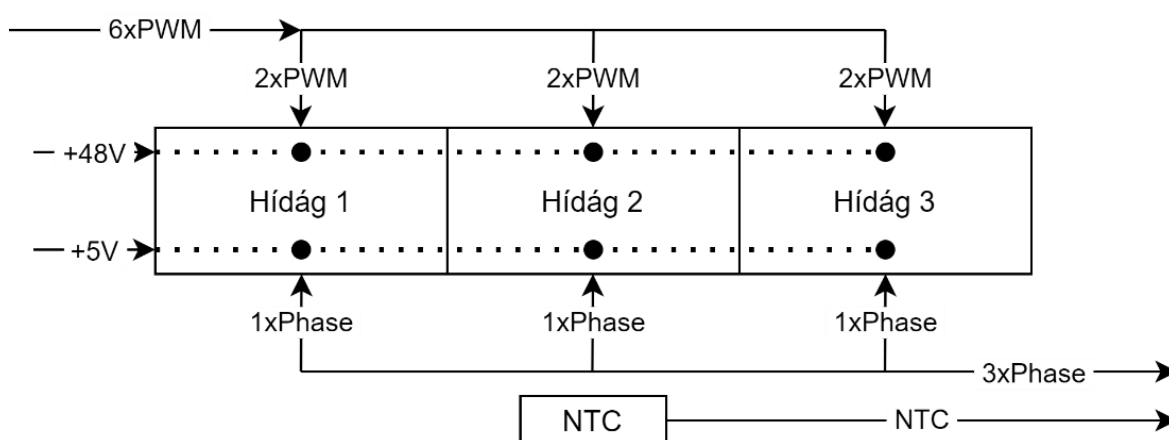


1. ábra: A logikai panel általános felépítése

Látható, hogy 48V-os rendszerfeszültségről működik az eszköz, amelyből egy DC/DC feszültségcsökkentő konverter alakít 5V-os feszültséget az összes integrált áramkörnek a logikai panelen. A panelen ezen felül található:

- egy alacsony fogyasztású dsPIC33EV256GM104 [6] típusú mikrovezérlő, amely a számítási, szabályzási és jelfeldolgozási feladatokat végzi
- egy túláram védelmi részegység, amely a fázisáramok mérését valósítja meg, valamint egy biztonsági korlát túllépése esetén hibajeleket generál
- a hibajeleket felhasználva egy logikai kapuáramkörökkel felépített hálózat a vezérlést hardveresen tiltja az eszköz és a motor védelme érdekében egyaránt
- végezetül található egy CAN interfész, amelyen a kommunikáció megvalósítása történik külső elektronikai eszközökkel összekapcsolva

A teljesítményfokozat felépítését a 2. ábra mutatja.



2. ábra: A teljesítményfokozat általános felépítése

A teljesítményfokozaton egy háromfázisú hídkapcsolás található, melyet a logikai panelen található mikrovezérlő PWM kimenete vezérel. A panelen található továbbá fázisonként egy-egy shunt ellenállás, amely a fázisáram mérése szempontjából szükséges. Több árammérési lehetőség választható, de a fázisokon külön-külön történő mérés a precíz és nagy hatásfokigényű motorvezérléshez elengedhetetlen.[1] A megvalósított kialakítás alapján a hardver mind szenzoros, mind szenzor nélküli vezérlésre alkalmas.[2][3]

Fogyasztást csökkentő megoldások

A fogyasztás csökkentése érdekében elsősorban olyan alkatrészek alkalmazására került sor, amelyek alapfogyasztása alacsony. Itt megemlíthető a mikrovezérlő, a logikai kapuáramkörök, az árammérő műveleti erősítő vagy akár a CAN kommunikációt megvalósító transceiver.

A DC/DC feszültségcsökkentő konverter tervezése is az előre felmért igények szerint lett kiválasztva és megtervezve. Az általánosan előforduló fogyasztási munkapontban magas hatásfok jellemzi a működését.

A fogyasztás további csökkentése érdekében extra funkciók beépítésére volt szükség. Ismerve a SZEnergy Team versenyzése során alkalmazott megoldást, jobban megérthetjük ezeknek igényét. A csapat versenyzés közben gyakran halad úgy a versenypályán, hogy a motort nem használva szabadon gurul a versenyjárművével.

A jármű üzemeltetése során felmerülő igény a motorvezérlő perifériáinak lekapcsolása, az eszköz teljeskörű altatása vagy tápfeszültségének teljes lekapcsolása, Így a következő funkciók megvalósítására képes a vezérlő:

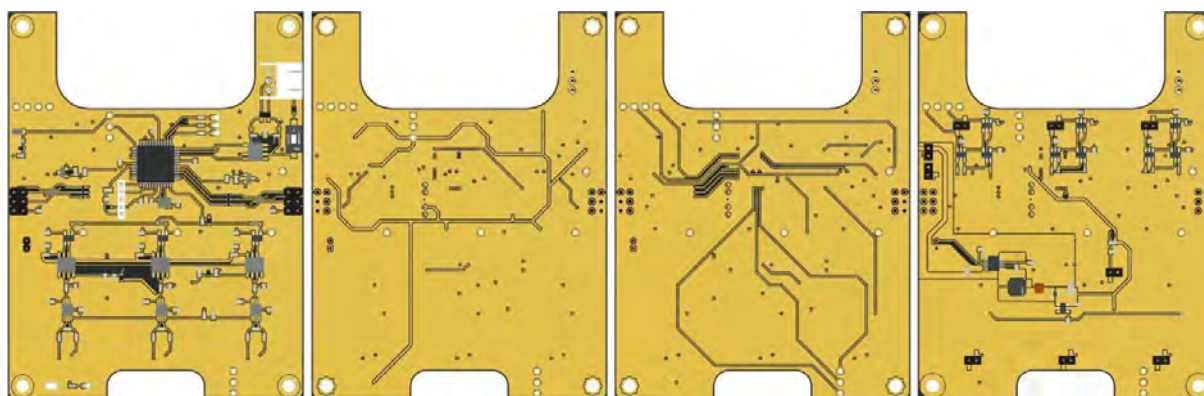
- motorba integrált inkrementális enkóder és hall szenzorok tápfeszültsége lekapcsolható, fogyasztásuk megszüntethető
- a CAN kommunikációt megvalósító transceiver készenléti üzembe hozható, amelyben fogyasztása minimalizálható
- a mikrovezérlő képes alvó üzembe állni a megfelelő programozás megvalósításával, fogyasztása ilyenkor a legalacsonyabb
- a panelen található konverter működése külső forrásból lekapcsolható, ilyenkor a motorvezérlő egység fogyasztása teljesen megszűnik

Végezetül esetemben a teljesítményfokozat különlegessége, hogy gallium-nitrid kapcsolóelemek alkotják, melyeknek számos előnye van.[4] Segítségükkel a kapcsolási veszteség alacsonyan tartható és az alkalmazott négyszeres párhuzamosítással a vezetési ellenállás csökkenthető, ami a vezetési veszteség mértéke szempontjából előnyös változás. A párhuzamosításnak további előnyei is vannak, például a hőmérsékleti egyensúly megtartását is elősegíti.[5]

Eredmények

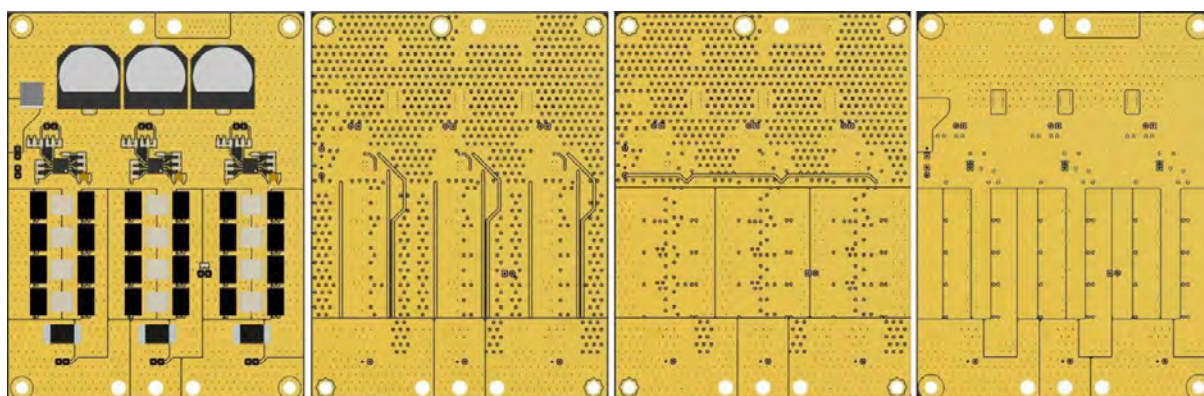
A kapcsolási rajzok megtervezése után a nyomtatott áramköri lapok huzalozási tervét készítettem el, követve az alkatrészgyártók ajánlásait ennek kialakításához. A tervekről elmondható, hogy négyrétegű nyomtatott áramkörök készültek el, amit a feladat komplexitása követelt meg. A kialakítást egy szimmetrikus három részre oszthatóság, nagy alkatrészsűrűség és jól megválasztott huzalozási struktúra jellemzi.

A logikai panel vezetőrétegeit a 3. ábra mutatja.



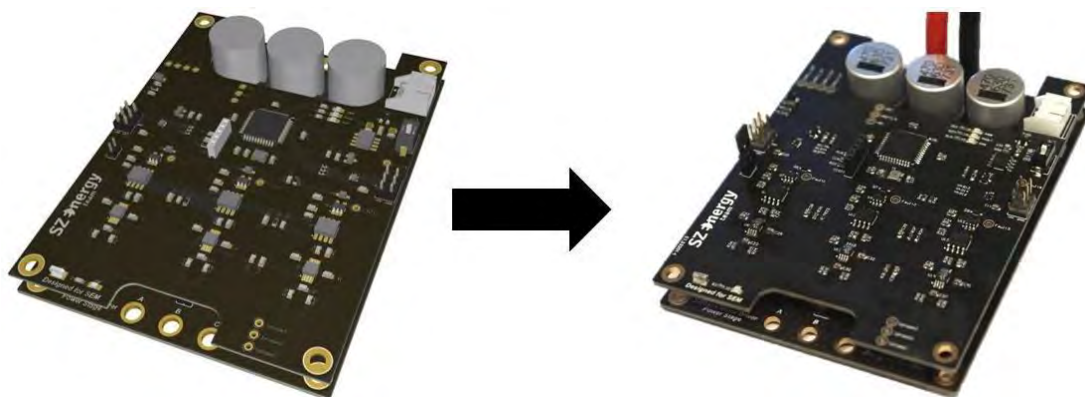
3. ábra: A logikai panel összes vezetőrétegének kialakítása

A teljesítményfokozat vezetőrétegeit a 4. ábra mutatja.



4. ábra: A teljesítményfokozat összes vezetőrétegének kialakítása.

A terveket követően a gyártási folyamat is befejeződött, amelynek eredményeként elkészült a megtervezett energiahatékony háromfázisú motorvezérlő (lásd 5. ábra). A gyártást követően tesztelési folyamatokat folytattam, hogy meggyőződjek a tervek sikerességéről. A tesztek alapján felmerülő problémák, hiányosságok apróbb javításokkal orvosolhatóknak bizonyultak.



5. ábra: A tervezett motorvezérlő egység háromdimenziós terve, valamint a gyártás utáni képe

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] Aupetit, N. Current sensing in BLDC motor application
AN5423, p. 1-19, 2020.
- [2] Bowling, S. Elliott, C.: *Using the dsPIC30F for Sensorless BLDC Control*
AN901, p. 1-36, 2004.
- [3] D'Souza, S. *Sensored BLDC Motor Control Using dsPIC30F2010*
AN957, p. 1-20, 2004.
- [4] GaN Systems Inc. *An Introduction to GaN Enhancement-mode HEMTs*
GN001, p. 1-19, 2020.
- [5] GaN Systems Inc. *Design Considerations of Paralleled GaN HEMTs*
GN004, p. 1-27, 2020.
- [6] Microchip Technology Inc. *dsPIC33EVXXXGM00X/10X Family Data Sheet*
DS70005144H, p. 1-506, 2013-2019

Az 5G szerepe a post-Covid gazdasági fellendülésben – az 5G hatása a KKV szektorra

The role of 5G in post-Covid economic recovery - impact of 5G on SMEs

Gyurián Nagy Nikolett^a, Eisingerné Balassa Boglárka^b

^aSzéchenyi István Egyetem

^bSzéchenyi István Egyetem

Absztrakt: A tanulmány az 5G hálózat gazdasági hatásait vizsgálja, tekintettel a kis- és középvállalkozások szektorára vonatkozóan. Az 5G-t nevezzük ötödik generációs mobilhálózatnak is, amely egy vezeték nélküli hálózat. Az 5G technológia egy teljesen új hálózatot hoz létre, amely arra hivatott, hogy virtuálisan kapcsolatot teremtsen az emberek, a tárgyak, a gépek és további eszközök között. Ebből adódóan az 5G technológia a kis- és középvállalkozások számára is számos lehetőséget kínál. Megemlíthetjük a versenyelőnyt a piacon vagy akár az üzleti folyamatok optimalizálását is. A tanulmány világszintű kutatásokat dolgoz fel az 5G technológia kínálta új szolgáltatásokról, mely a KKV szektort is támogatja. A tanulmány célja, hogy szekunder kutatások segítségével áttekintést nyújtson a vizsgált témaköréről.

Kulcsszavak: 5G, gazdaság, KKV

Abstract: This study presents the economic impact of 5G network, especially for small and medium-sized enterprises. 5G is the 5th generation mobile network, furthermore it is a new global wireless standard. 5G enables a new kind of network. This new network is designed to connect virtually everyone and everything together including machines, objects and devices. The 5G network can provide a lot of opportunities for small and medium-sized enterprises. For instance, 5G can help to give a competitive advantage in the market or business process optimization. The research based on worldwide results explores, what kind of new services SMEs can provide with 5G technology. The aim of the study is to provide an overview about the topic, based on secondary research.

Keywords: 5G, economy, SMEs

Bevezetés

Napjainkban a folyamatos technológiai fejlődés, a digitalizáció korát éljük. Mindezek mellett a világ hosszú hónapok óta néz szembe a gazdaságra nagymértékben befolyást gyakorló válsággal. Ahogy az országok próbálnak szembenézni a COVID-19 világjárvány különböző fázisaival, egyre egyértelműbben látszik, hogy a technológia és különösen a digitális kapcsolódás egyre inkább részesei mindennapi életünk számos aspektusának (Gyimesi, Tóth, Wersényi, 2022). Az iparág rugalmasságát és elkötelezettségét jól mutatják az Ericsson Mobility jelentés eredményei is.

A hálózati technológiát figyelembevéve elsősorban különbséget kell tennünk az egyes generációk közt. Az egyelőre bevezetés alatt álló 5G hálózat sebessége jelentősen nagyobb, mint a 4G vagy a 3G sebessége, ez további jele annak, hogy az iparág fáradhatatlanul dolgozik az innovációkon és hoz új technológiákat a piacra.

A tanulmány szekunder forrásokat dolgoz fel, amelynek alapját képezi egy szisztematikus irodalmi áttekintés. Az előzetes kutatások alapján három, a témakörhöz szorosan illeszkedő kulcsszó került meghatározásra: 5G, hatás, gazdaság. Az említett kulcsszavak támogatják leginkább a vizsgált témakör feldolgozását. A kutatás során a Scopus adatbázis és a statisztikai kimutatások adták a releváns forrásokat. A három kulcsszó mellett a 2017-2021-es időszak aktuális eredményeinek feldolgozására törekedtünk, kifejezetten a gazdasági témakörön belül, melynek megfelelően a tanulmányok és statisztikai források tartalmi felülvizsgálata után összesen 21 releváns forrás lett felhasználva jelen tanulmányban.

Az 5G kommunikációs technológia kifejlesztése elsősorban az űrkutatásnak köszönhetően indult útjára. A NASA 2008 áprilisában az M2Mi Corporation nevű céggel közösen dolgozni kezdett egy új, nanoműholdakból álló rendszeren, amelynek célja kis energiafogyasztású, nagy adatátviteli sebességű internetprotokoll alapú szolgáltatások elindítása volt (NASA, 2008).

A nagysebességű, lehetőségekkel telített 5G hálózatokat megelőzően már a mobil kommunikáció első generációjának (1G) bevezetése is gyökeresen megváltoztatta a világunkat: új iparágakat vezetett be és társadalomformáló hatást gyakorolt (Maeng et al., 2020; Dunnewijk, Hultén, 2007; Jehadessan, 2005; Rappaport, 1996). A második generáció (2G) a hangkommunikációt népszerűsítette. A harmadik generáció (3G) a vezeték nélküli internetet hozta magával (Maeng, Kim, Shin, 2020; Korhonen, 2003; Siau, Shen, 2003).

A negyedik generáció (4G) pedig különféle nagysebességű mobilszolgáltatásokat nyújtott, például a pénzügyekben, a vásárlásban és szórakoztatásban (Maeng et al., 2020; Arshad et al., 2010; Govil, Govil, 2007).

Az 5G szolgáltatásokat elsőként a koreai fogyasztók tapasztalhatták meg, amikor 2019. április 3-án elérhetővé vált számukra az ötödik generációs mobilhálózat. A koreai bevezetésre a világ országai is reagáltak: 2020-ban további országok kezdték el bevezetni az 5G hálózatot a fogyasztók számára. Mindezek ellenére a B2B szektorban több időre van szükség a bevezetéshez (Maeng et al., 2020). Az 5G térnyerésében a különböző B2B alkalmazások várhatóan fontos szerepet fognak játszani. A korábbi generációs mobilhálózatok elterjedésében a B2C szektor játszott meghatározó szerepet, mint például a mobil adatszolgáltatások területén (Frias, Pérez Martínez, 2018). Nem feledkezhetünk meg a humán tényezőről sem. Az LGERI (2018) megállapításai alapján ez a változás fokozatosan következik be és a fogyasztók kulcsfontosságúak lesznek az 5G iránti kezdeti kereslet biztosításában.

Módszertan

A tanulmány szekunder kutatásra épül, amely egy szisztematikus irodalmi áttekintésre és statisztikai adatok feldolgozására irányul. A kutatást elsősorban a Scopus adatbázisban végeztük, valamint a statisztikai adatbázisokat használtuk fel. A szakirodalmi források felkutatása érdekében három kulcsszó meghatározása volt mérvadó, amelynek segítségével a témához illeszkedő, releváns forrásokat dolgoztuk fel.

Az alapvető kulcsszó az „5G” volt, s ehhez társítottuk a „hatás” és a „gazdaság” kulcsszavakat, melyek különböző szópárokként szolgáltak segítségül az irodalomkutatásban. Az „5G” -hez társuló két kulcsszó kiválasztását előzetes kutatások támasztották alá. Az 5G gazdasági aspektusaira vonatkozóan meglehetősen szűkös a forrás, s ez a tény is arra utal, hogy a témakör nagy kutatási potenciállal bír. A források felkutatásánál az 5G, a gazdaság, a hatás kulcsszavak szolgáltak segítségül. A következő lépés a releváns források szűrése volt. A felhasznált tanulmányok aktualitását tekintve az elmúlt öt év eredményeinek feldolgozására törekedtünk.

A három kulcsszó (5G, gazdaság, hatás) együttes alkalmazása során 1 tanulmány vált elérhetővé, a 2017-2021-es időszakból. Az „5G” és a „hatás” kulcsszavak esetében 106 tanulmány, az „5G” és a „gazdaság” kulcsszavak esetében pedig 73 tanulmány alkotta az alapot. A tanulmányok összesítése és az absztraktok tanulmányozása után a kifejezetten gazdasági tematikájú források feldolgozását tűztük ki célul. Mindezek mellett további tanulmányok feldolgozására is sor került, amely a szűrt tanulmányok alapján mérvadó lehet a témában, de nem az elmúlt öt évben íródott. A források rendszerezésre, rangsorolásra kerültek (Q ranking – Q1, Q2, Q3 és Q4 besorolás), s ezen cikkek, valamint statisztikai kimutatások tanulmányozása és feldolgozása által készült el jelen tanulmány.

Az 5G szerepe a gazdaságban

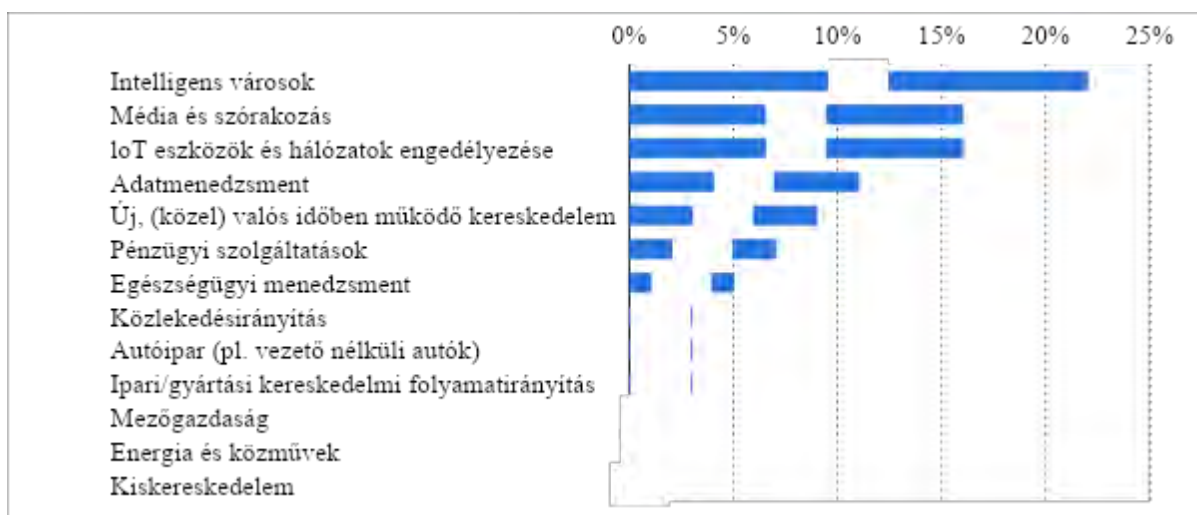
A Covid-19 járvány miatti társadalmi eltávolodás a társadalom minden szektorát befolyásolta, így az oktatást is. A normál működés fenntartásához alkalmazkodva Kínában 5G alapú tanulási rendszert vezettek be az iskolákban. Számos platform felajánlotta támogatását a felhasználóknak. A jelenséget vizsgálva Shah et al. (2021) a kínai tanulók intelligens tanulással kapcsolatos szándékait tárta fel, a technológia elfogadási modellre alapozva. Eredményeik azt mutatják, hogy az 5G elfogadására hatást gyakorolnak különféle tényezők, mint az anyag, a jelentések és a kompetenciák.

Akbari és társai (2020) rámutatnak, hogy az 5G-technológiáknak nagy szerepe lesz az intelligens egészségügyi rendszerek felépítésében is. Az 5G olyan biztató jellemzői, mint a sebesség, a megbízhatóság és az alacsony késleltetésű kommunikáció meghatározó szerepet játszhatnak az egészségügyi szolgáltatások fejlesztésében. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy bármennyire is biztató az 5G-alapú egészségügyi rendszer, még mindig túlságosan futurisztikus. A betegek magánéletének védelme, a felhasználási szabályzatok megfogalmazása és a társadalmi elfogadás kérdései további kérdőjeleket vethetnek fel. Számos tényező mellett kiemelkedő veszélyforrás a kevés tapasztalat, valamint a kiterjedt 5G infrastruktúra kiépítésének szükségessége az 5G alapú egészségügyi rendszerek létrehozásánál (Al-Marouf et al., 2021).

Az 5G technológiának megvan a maga vitathatatlan varázsa a turizmusban is. A COVID-19 világjárvány által súlyosan sújtott iparágban nem volt más lehetősége, mint rögtönözni: nem kell helyekre menni; helyek jönnek hozzád. A virtuális valóság növekvő igénybevétele a turizmusban (pl. múzeumok, művészeti galériák, történelmi helyszínek virtuális látogatása) sürgőssé tette az 5G technológiák gyors átvételét az iparágban.

Shao et al. (2020) kutatása alapján a potenciális turisták az 5G technológiás virtuális valóság elfogadását számos tényező befolyásolja. Ilyen tényező lehet a hasznosság, a könnyű használat, a költség, a kényelem. Az e-turizmus vagy az "okos turizmus" (Peng et al., 2020), amelyet a Turisztikai Világszervezet "zöld, etikus és tiszta turizmusként" mutat be (Balandina et al., 2015), feltörekvő terület (Al-Marroof et al., 2021).

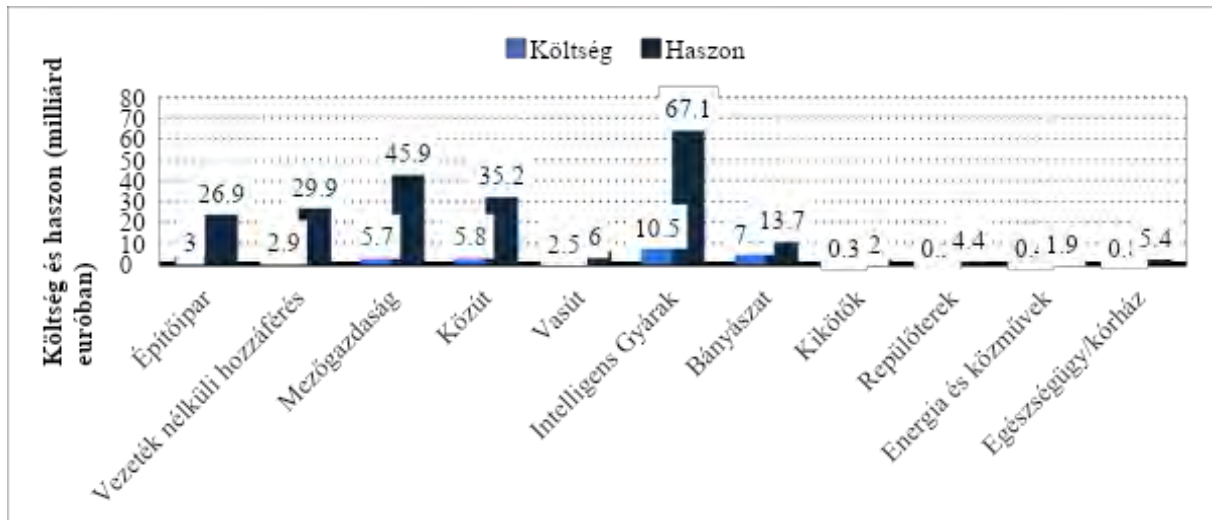
A kiemelt példák mellett az 5G technológia számos területen szolgál növekedési potenciállal, melyet a következő ábra ismertet.



1. ábra: Az 5G növekedési potenciállal rendelkező területei, statista.com

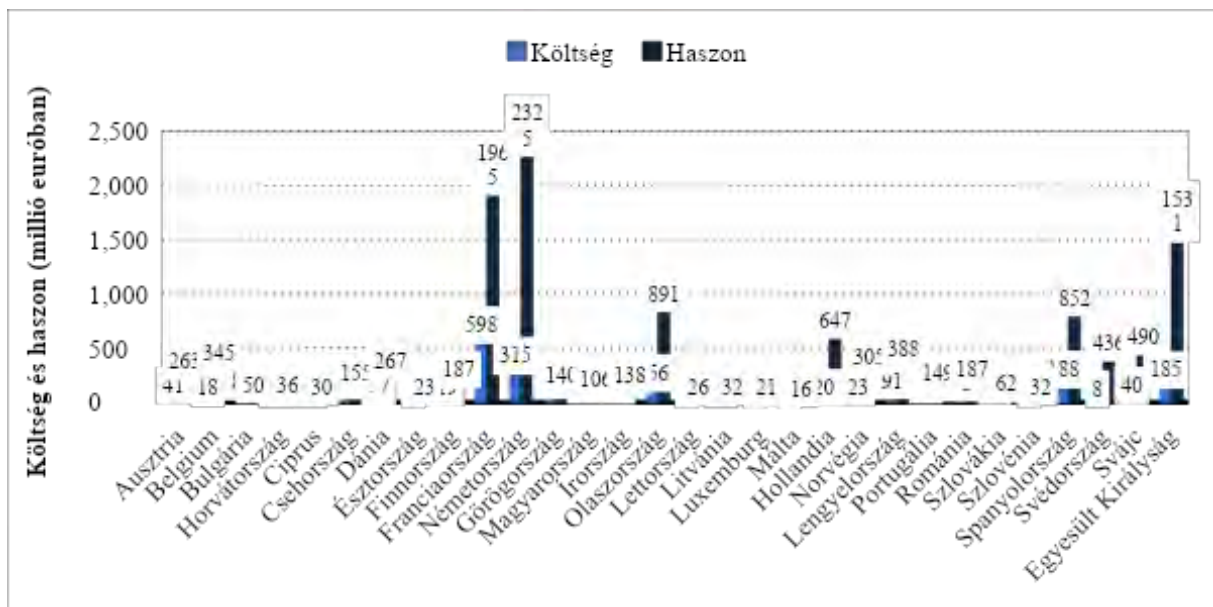
Az 1. ábra alapján kijelenthető, hogy az 5G technológia számára a legnagyobb növekedési potenciált az intelligens városok (22%) jelentik, ennek oka minden bizonnyal az intelligens városok hálózati igényében rejlik. Elengedhetetlen a gyors, megbízható hálózati infrastruktúra. További lehetőséget kínál az 5G infrastruktúra szélesbítésére a média, a szórakozás, az okos eszközök/IoT eszközök.

A növekedési potenciállal kecsegtető területek mellett az 5G technológiával kapcsolatos költség és haszon megfigyelése is figyelemfelkeltő információkkal bír. A költség-haszon páros eredményeit a második ábra vizuálisan is szemlélteti.



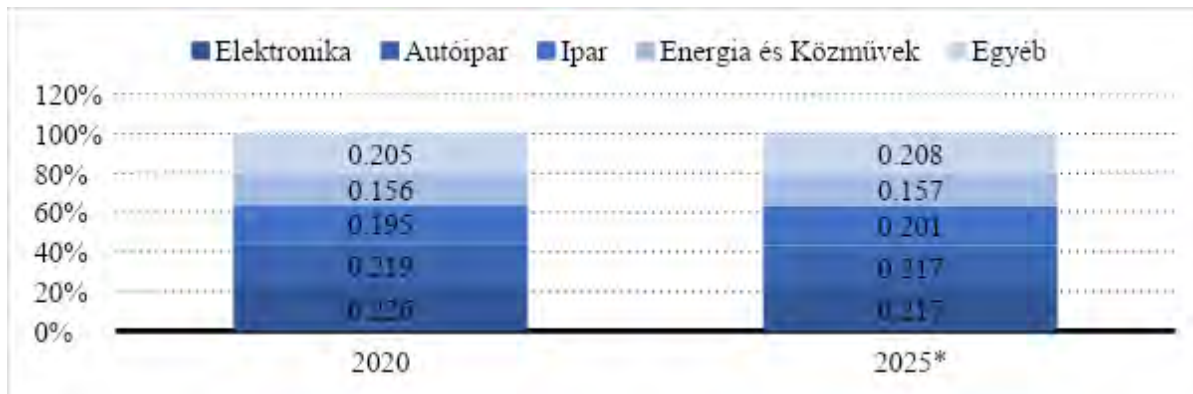
2. ábra: A teljeskörű 5G telepítésből származó költség és haszon (milliárd euróban), statista.com

A 2. ábra is jól mutatja, hogy minden egyes területen az 5G-re történő átállás kimagaslóan nagy előnyöket és megtérülést jelenthet minden iparági szereplő számára. Az eredményekből jól látszik, hogy az egyik legnagyobb megtérülés, majd haszon, a termelő vállalatok körében következik be. Egyértelműen látszik ebből, hogy az Ipar 4.0-nak a bevezetése égetőbb kérdés, mint valaha, mert a raktárak automatizálásával vagy a termelőgépektől kapott valós idejű és nagyobb mennyiségű adatok jelentős állásidő csökkenést tudnak előidézni. A beruházásoknak az egyik finanszírozási forrása származhat valamilyen kockázati tőke befektetési alapoktól. A költség-haszon kimutatást országonként bontásban a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: A teljeskörű 5G telepítésből származó költség és haszon országonkénti bontásban, statista.com

Amint a 3. ábra szemlélteti, Franciaország és Németország, valamint az Egyesült Királyság helyezkedik el vezető pozícióban az 5G technológiával kapcsolatos haszon tekintetében. Mindez visszavezethető az intelligens technológia alkalmazására. A legmagasabb haszon/költség aránnyal rendelkező országok Svédország, Hollandia és Belgium.



4. ábra: Az 5G infrastruktúra piaci bevételi részesedése világszerte 2020-ban és 2025*-ben, statista.com

A 4. ábrán egyértelműen látszik, hogy az 5G infrastruktúra globális piacának kettő legnagyobb szereplője az elektronikai ipar és az autóipar. Az elektronika térhódításának oka abból adódik, hogy ebben az iparágban van a legnagyobb ismertsége az 5G-nek. Tekintettel arra, hogy a mobil előfizetők körében óriási az igény az új generáció nyújtotta előnyökre, a minimálisra csökkentett válaszidőre, a gyors internetelésre, ezáltal az akadásmentes videónézésre, ezen a területen térül meg leginkább a befektetés. Az autóipar sincs lemaradva sőt, a rendelkezésre álló adatok alapján végzett előrejelzés szerint 5 év alatt ugyanakkora lesz a piaci részesedése, mint az elektronikának.

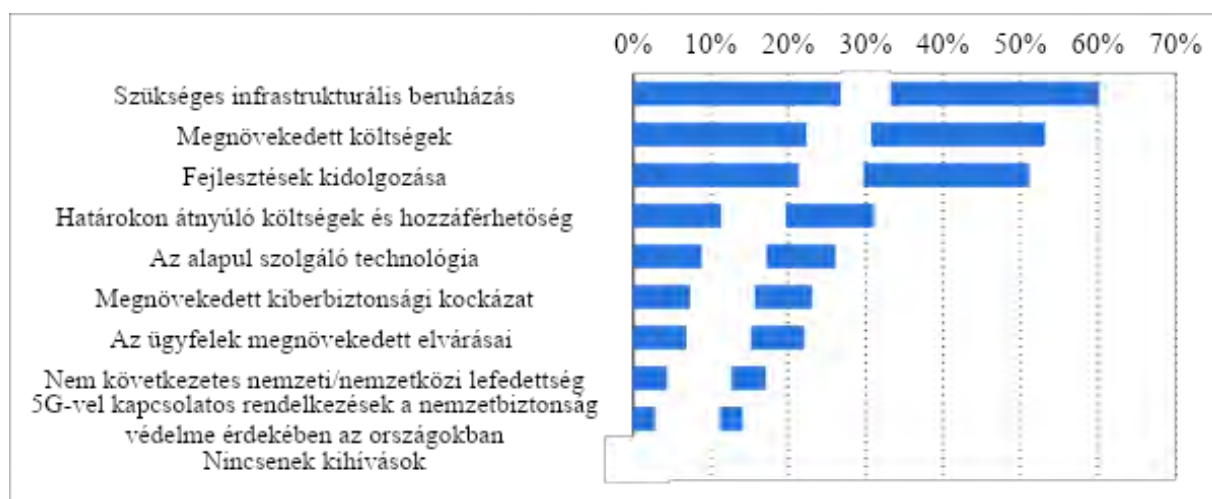
Az 5G-ben rejlő potenciált jól mutatja, hogy a többi területen sincs jelentős elmaradás a piaci részesedésben. Ebből is látszik, hogy egy nagy potenciállal rendelkező innovációról van szó, amit érdemes vizsgálni és nyomon követni, mert a következő évtizedre meghatározó jelentőséggel fog bírni.

A folyamat következtében olyan külső befektetési lehetőségeket célszerű feltárni, amelyek nem csupán az érettség szakaszába lépett vállalkozásoknak tudnak új lendületet adni, hanem induló vállalatokat is tudnak támogatni, mivel könnyebb egy új technológiával elindítani a vállalkozást, mint a régit lecserélni és mindent egy új környezetbe befogadni. Az elemzés során külföldi és hazai finanszírozási modellek után kutattunk.

Következtetések

A kutatás során figyelmesek lettünk különféle nehézségekre, amelyek negatív hatással lehetnek az 5G technológia alkalmazására. Az 5. ábrán egy 2020 első negyedében készült felmérés eredményei láthatóak, amely 235 választ dolgozott fel. A válaszadók közt szerepeltek európai technológiai cégek vezetői, a technológiai fókuszú befektetési közösség tagjai és a technológiai politikával foglalkozó kormányzati tisztviselők. A kutatás eredményeiből egyértelműen látszik, hogy a három fő probléma: a szükséges üzleti infrastrukturális beruházások száma alacsony, magasak a költségek, kis mértékű felhasználás. Az alacsony számú infrastrukturális beruházás nem kizárólag az innováció megvalósítására terjedhet ki, hanem mérvadó lehet a technológiával szembeni bizalom is, mely visszavezethető többek közt az adatvédelemre, s a különböző online támadásokból származó rossz tapasztalatokra, amelynek következtében a vállalatok nem kívánnak élni az ismeretlen technológiai lehetőségekkel. Az infrastrukturális beruházásokhoz kapcsolódhatnak a megnövekedett költségek is, mint akadályozó tényező. A piacon működő vállalatoknál jelentős költség is felmerül, amely mellett kérdéses egy fejlesztésre irányuló plusz költség megtérülése.

Előfordulhat, hogy a gazdasági folyamatok hatására megnövekedett költségek mellett a vállalatok nem kívánnak beruházást tenni a technológiai fejlődésre. Szintén kapcsolódó tényező lehet a harmadik helyet elfoglaló akadály, amely a fejlesztések kidolgozása. A költség tényező mellett hasonló fontossággal bír a fejlesztés kidolgozása, megtervezése, megvalósítása, s az ehhez kapcsolódó emberi erőforrás biztosítása. Nem kizárt, hogy az emberi erőforrás hiánya gátolja a céget, amennyiben nincs olyan munkaerő, aki közreműködik a változásvezetésben, esetleg kellő pontossággal megtervezné.



5. ábra: Az 5G technológiával kapcsolatos kihívások Európában 2020-ban, statista.com

A szakirodalmi kutatás, valamint a statisztikai kimutatások feldolgozása során felmerült a kérdés, hogy a kis- és középvállalkozások milyen módon finanszírozhatják a fejlesztéseket. A kutatás során 5 finanszírozási modellt tártunk fel.

1. *Kockázati tőke* – A gyorsan növekvő vállalatokba történő kisebbségi részesedésekre összpontosít, nem pedig egy vállalat tulajdonjogának megszerzésére.
2. *Vállalati kockázati tőke* – A CVC a nagyvállalatok belső kockázati tőke-ágára utal. Jellemzően az anyavállalat stratégiai céljaira összpontosít, de vannak pénzügyi céljai is.
3. *Üzleti angyalok* – Támogatásuk által hajlandók idejüket és pénzüket vállalatok támogatására fordítani a fejlesztési szakaszban.
4. *Bankok* – A hagyományos kkv-k külső finanszírozásának fő forrásai a bankok voltak. A bankok általában érett kkv-kat támogatnak, amelyek konzisztens bevételt produkálnak, jövedelmezőséget érnek el vagy kimutathatóan közel állnak ahhoz.
5. *Állami finanszírozás* – Az állami finanszírozás kulcsfontosságú tényező Európa innovációs ökoszisztémájának robbanásszerű növekedéséhez. Mivel több száz regionális, állami és európai szintű program működik, nehéz átfogó képet adni ezek mértékéről és hatékonyságáról. Mindazonáltal egyértelmű, hogy az állami finanszírozás elengedhetetlen a korai szakaszban lévő projektek és vállalatok, sőt a kkv-ökoszisztéma egészének támogatásához Európában (Gilles, Tóth, 2021).

Összegzés

Az 5G és annak bevezetése számos szektorban nagyon nehézkes lehet. Lehetséges, hogy a vállalkozások számára elkerülhetetlen az üzleti modellek átalakítása, viszont minden bizonnyal előnyöket eredményez az 5G technológia bevezetése. Az átalakítás lehetőségnek bizonyulhat az európai kis- és középvállalkozások számára, amelyek természetüknél fogva rugalmasabbak és kevésbé vonakodnak a változástól, mint a nagyobb szereplők, ez remélhetőleg nagy növekedést és globális vezető szerepet nyújthat azoknak a KKV-knak, akik elsőként választják ezt az utat, tehát az 5G technológiát alkalmazzák, mindezek által innovatív megoldásokra törekednek.

Az 5G technológia alkalmazásának legnagyobb akadálya a vállalati infrastruktúra felújítása, teljes megváltoztatása. Minden bizonnyal az infrastrukturális változások anyagi hozzájárulást igényelnek, amelynek előteremtése nem könnyű feladat. Mindezek mellett a felújítások, változtatások megtervezése, a folyamat kidolgozása, erőforrásigénye és megvalósítása sem egyszerű. Amennyiben a vállalatok rászánják magukat a technológiai fejlődésre, ezzel együtt a digitalizáció felé fordítják figyelmüket, a későbbi költség-haszon elemzések kecsegtetőek. Az 5G technológia alkalmazása az eddigi eredmények és az előrejelzések alapján többszörösen megtérül. A legnagyobb megtérülési arány az intelligens gyárak és a mezőgazdaság területén jellemző. Az 5G bevezetéséből fakadó haszon esetében, állami szinten Európában Németország, Franciaország és az Egyesült Királyság helyezkedik el a ranglétra tetején. Finanszírozás tekintetében a kutatás alapján jelenleg öt csoportot különböztetünk meg, amelyekből a vállalkozásoknak lehetősége adódik a számukra leginkább előnyös finanszírozási forma kiválasztására. A vállalatoknak lehetősége nyílik kockázati tőke beruházásokkal, vállalati kockázati tőkével, üzleti angyalok közreműködésével, bankok hozzájárulásával és állami finanszírozással kivitelezni az 5G technológia telepítését. A fő lehetőségek közötti választást befolyásolhatja a vállalati profil, a kultúra és számos egyéb belső, valamint külső tényező.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] Akbari, M., Rezvani, A., Shahriari, E., Zúñiga, M. A., Pouladian, H. Acceptance of 5G technology: Mediation role of Trust and Concentration. *Journal of Engineering and Technology Management*, 57 (2020).
- [2] Al-Marouf, R. S., Akour, I., Aljanada, R., Alfaisal, A. M., Alfaisal, R. M., Aburayya, A., Salloum, S. A. Acceptance determinants of 5G services. *International Journal of Data and Network Science*. 613–628 (2021). <http://dx.doi.org/10.5267/j.ijdns.2021.8.006>
- [3] Arshad, M.J., Farooq, A., Shah, A. Evolution and development towards 4th generation (4G) mobile communication systems. *J. Am. Sci.* 6 (12), 63–68 (2010).
- [4] Balandina, E., Balandin, S., Koucheryavy, Y., & Mouromtsev, D. Innovative e-tourism services on top of Geo2Tag LBS platform. *11th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)* (pp. 752–759). (2015).
- [5] Dunnewijk, T., Hultén, S. A brief history of mobile communication in Europe. *Telemat. Inf.* 24 (3), 164–179 (2007).
- [6] Frias, Z., Pérez Martínez, J. 5G networks: Will technology and policy collide? *Telecommunications Policy*, vol. 42, issue 8, 612-621 (2018). DOI:10.1016/j.telpol.2017.06.003
- [7] Gilles, F., Toth, J. Accelerating the 5G transition in Europe: How to boost investments in transformative 5G solutions. *Innovation Finance Advisory*, part of the European Investment Bank's advisory services. (2021).
- [8] Govil, J., Govil, J. 4G Mobile Communication Systems: Turns, Trends and Transition 2007 13–18 (2007).
- [9] Gyimesi, Á., Tóth, Á., Wersényi, Gy. The Vision that Carries the Digital Transformation on its Back - The Promises of 5G for Sustainability and for the Corporate Sector Focusing on the SMEs in Hungary. Online: http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/ICARME_1.pdf (2022).
- [10] Jehadessan, R. Mobile Communication Technologies. *Recent Adv. Inform. Technol.* 103 (2005).
- [11] Korhonen, J. *Introduction to 3G Mobile Communications*. Artech House (2003).
- [12] LGERI. LG Economic Research Institute. 5G service challenges. Korean. (2018).

- [13]Maeng, K., Kim, J., Shin, J. Demand forecasting for the 5G service market considering consumer preference and purchase delay behavior. *Telematics and Informatics* 47 (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.101327>
- [14]Peng, R., Lou, Y., Kadoch, M., & Cheriet, M. A human-guided machine learning approach for 5G smart tourism IoT. *Electronics*, 9(6), 947 (2020).
- [15]Rappaport, T.S. *Wireless Communications: Principles and Practice Vol. 2* Prentice hall PTR, New Jersey (1996).
- [16]Shah, S. K., Zhongjun, T., Sattar, A., & Xinhao, Z. Consumer's intention to purchase 5G: Do environmental awareness, environmental knowledge and health consciousness attitude matter? *Technology in Society*, 65, 101563 (2021).
- [17]Siau, K., Shen, Z. Mobile communications and mobile services. *Int. J. Mobile Commun.* 1 (1–2), 3–14 (2003).
- [18]Statista: 5G infrastructure market revenue share worldwide in 2020 and 2025, by application.
<https://www.statista.com/statistics/1021281/global-5g-infrastructure-market-by-application/> (2021).
- [19]Statista: Benefits and costs of full 5G deployment across use cases within smart public services in Europe, by country.
<https://www.statista.com/statistics/1190144/5g-benefits-costs-smart-public-services-use-cases-europe/> (2021).
- [20]Statista: Benefits and costs of full 5G deployments across use cases in Europe.
<https://www.statista.com/statistics/1190049/use-cases-benefits-costs-5g-upgrade-europe/> (2021).
- [21]Statista: Biggest challenges associated with 5G connectivity in Europe as of the first quarter of 2020.
<https://www.statista.com/statistics/1165965/biggest-challenges-of-5g-connectivity-in-europe/> (2021).
- [22]Statista: Leading use cases where 5G can offer the most growth potential in Europe as of the first quarter of 2020.
<https://www.statista.com/statistics/1165946/top-use-cases-with-5g-growth-potential-in-europe/> (2021).

Jármű radar keresztmetszet mérés módszertani korlátai

Methodological limitations of vehicle radar cross section measurement

Jagicza Márton, Pekk Leticia

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE

^bZalaegerszegi Technológiai Centrum

Absztrakt: A jármű radarok szempontjából a céltárgyak legfontosabb tulajdonságai a sebesség, a távolság és a radarkeresztmetszet. A radarkeresztmetszet (Radar Cross Section, RCS) alapján jó közelítéssel beazonosítható, hogy az objektum milyen típusú: gyalogos, kerékpáros, személygépjármű, kamion. A radarkeresztmetszet egy objektum visszaverő képességét méri és számszerű értéke megegyezik egy ugyanilyen visszaverő képességű vezető gömb keresztmetszetének területével. Értéke függ az objektum anyagától, alakjától, a megvilágítás szögétől és az alkalmazott hullámhossz, illetve az objektum méretének arányától.

A cikk során bemutatásra kerül a céltárgyak vizsgálatára összeállított mérőrendszer, melynek fő komponense egy autóiipari radar. Ismertetésre kerül még a mérőrendszerhez tartozó kiértékelő szoftver, melyet Matlab/Simulink környezetbe készítettünk el. A mérőrendszerrel különböző méréseket végeztünk a ZalaZONE Járműipari Tesztpályán, amelyeknek kiértékelése bemutatásra kerül. A mérések célja, hogy a gyalogosok radarkeresztmetszeti értékeit ismerjük a különböző távolságokban a járműhöz viszonyítva.

Kulcsszavak: radarkeresztmetszet, távolság, objektum, CAN, Matlab/Simulink.

Abstract: In terms of vehicle radars, the most important properties of targets are speed, distance and radar cross section. Based on the Radar Cross Section (RCS), the type of the object can be identified with a good approximation: pedestrian, bicycle, car, truck. A radar cross section measures the reflectivity of an object and its numerical value is equal to the area of the cross section of a conducting sphere with the same reflectivity.

Its value depends on the material and shape of the object, the angle of illumination and the ratio of the wavelength used to the size of the object. The article presents a measurement system designed for the examination of targets, the main component of which is an automotive radar. In addition, the evaluation software for the measurement system, which was created in the Matlab / Simulink environment, will be presented. The measurement system was used to perform various measurements on the ZalaZONE Automotive Test Track, the evaluation of which will be presented. The purpose of the measurements is to know the radar cross-sectional values of pedestrians at different distances from the vehicle.

Keywords: radarkeresztmetszet, távolság, objektum, CAN, Matlab/Simulink

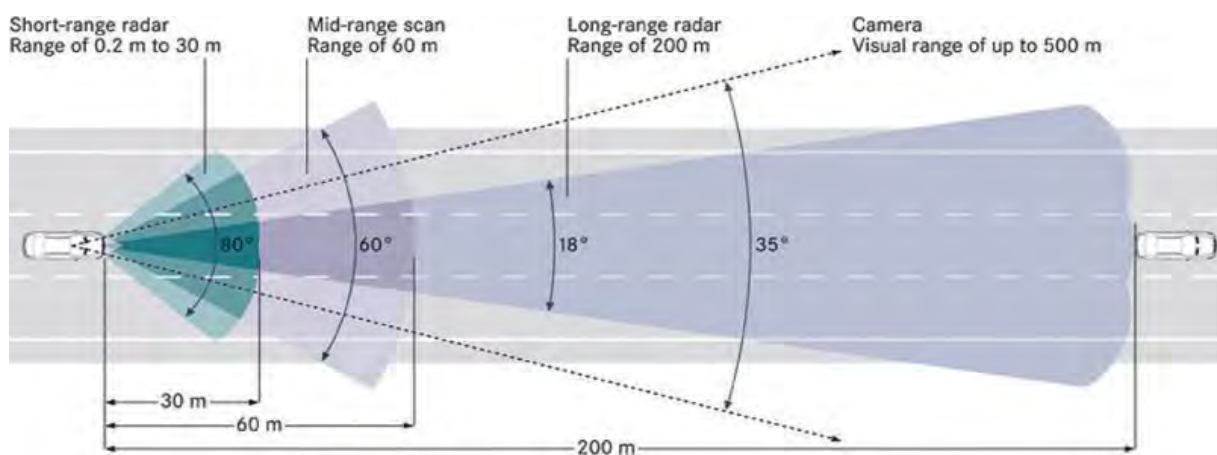
Bevezetés

A járműiparban egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a vezetéstámogató rendszerek fejlesztésére, tesztelésére. A rendszerek érzékelő elemei közé tartoznak a radarok.

A radar szó az angol “**RA**dio **D**etecting **A**nd **R**anging” szavakból jön, amely magyarul rádió érzékelés és távolságmérésként fordítható. A radar elvű mérések az elektromágneses hullámok tulajdonságain alapulnak. A radarokat felépítésüket nézve két csoportra lehet bontani, a “monostatic” és a “bistatic” radarokra. Az autóiparban csak monostatic radarokat használnak, ezen radaroknak egy antennájuk van, amelyet mind az adó és a vevő egyaránt használ. Szükséges még egy úgynevezett duplexer is, amely lehetővé teszi, hogy az antennát felváltva tudjuk használni mind jelküldésre, mind fogadásra. A radarjel szinte minden felületről visszaverődik, így, ha tudjuk pontosan a kimenő jel tulajdonságait (frekvencia, amplitúdó) és ezeket meg tudjuk vizsgálni a visszapattanó jelen is, akkor, ha összehasonlítjuk őket sok adatot kaphatunk a céltárgyról. [1]

Az autóiparban eleinte az adaptív sebességtartó automatikáknál alkalmazták a radarokat járműdetektálás céljából, viszont mára már szélesebb körben kiterjedt akár már holtterfigyelésnél vagy vészfék asszisztens rendszereknél is alkalmazzák.

Az Európai Unióban 2013 közepétől az új járművekben már csak egy frekvenciasávú, 79 GHz-es tartományú radarérezelőköt lehet alkalmazni. A tartomány a teljes 4 GHz-es sáv szélességet lefedi 77,0- 81,0 GHz-ig.



1. ábra: A jármű elejére szerelt különböző radarok látóterei általánosságban

Céltárgyak paraméterei

A különböző vezetéstámogató rendszerek tesztjei során, mint például a vészfék asszisztens, a legfontosabb, hogy a valós céltárgyat helyettesítő, tesztelésre alkalmas céltárgy (dummy), minden szempontból a lehető legpontosabban tükrözze a helyettesíteni kívánt gyalogost, kerékpárost, motorost vagy akár járművet. A kamerás rendszerek esetén az egyik legfontosabb a dummy-k kinézete és a mozgása, addig a járműradarok szempontjából fontosabb, hogy a helyettesíteni kívánt céltárgy átlagos radarkeresztmetszetével egyezzen meg a dummy a távolság függvényében.

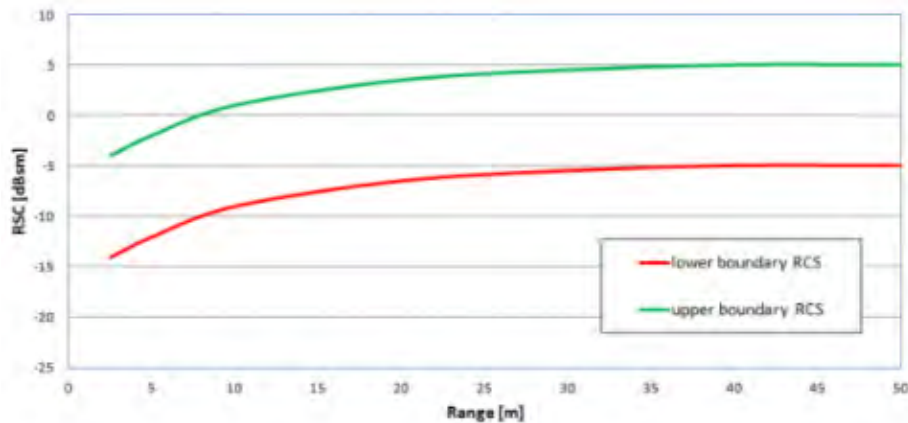
Radarkeresztmetszet (Radar Cross Section: RCS):

A radarkeresztmetszet egy objektum visszaverő képességét méri. Számszerű értéke megegyezik egy ugyanolyan visszaverő képességű vezető gömb keresztmetszetének területével. Értéke függ az objektum anyagától, alakjától, a megvilágítás szögétől és az alkalmazott hullámhossz, valamint az objektum méretének arányától. A radarkeresztmetszet egy oszcilláló érték, amely a távolság függvényében változik, bizonyos határok között. A határok alapján tudjuk megkülönböztetni és következtetni az adott céltárgyra. A céltárgy RCS-e egy fiktív felület, amellyel jellemezni tudjuk a tárgyról visszaverődő elektromágneses hullámok mennyiségét.

Meghatározása: $1 [m^2] = 10 * \log_{10}(1 [m^2]/1) = 0 [dBm^2]$

A forgalom szempontjából előforduló céltárgyak átlagos értékei:

- Kamion: 23 [dBm²]
- Autó: 20 [dBm²]
- Kerékpár: 3 [dBm²]
- Ember: 0 [dBm²]



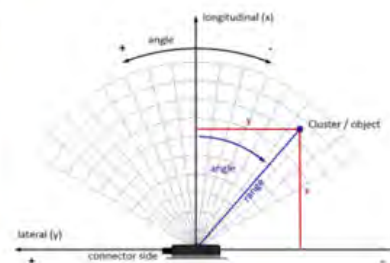
2. ábra: Gyalogost jellemző radarkeresztmetszeti határok [2]

Mérőrendszer

A szakirodalom javarészt a statikus vizsgálatokkal foglalkozik a radar céltárgyak szempontjából. Célunk egy olyan mérőrendszer kialakítása, amellyel dinamikus méréseket lehet végezni. A céltárgyak vizsgálatára kialakított mérőrendszer központi eleme egy Continental ARS-408-as radar. A radar CAN hálózaton keresztül kommunikál és továbbítja az információkat. Ahhoz, hogy ezeket az információkat kinyerjük, olyan dekódoló fájlt kellett készítenünk, amely tartalmazza a radarhoz tartozó összes információt.

Egy CAN kód és annak dekódolása az alábbi módon történik. A radar az általa küldött kódokat egy azonosítóval (ID) látja el, amely alapján következtethetünk arra, hogy az azonosítóhoz tartozó adathalmaz milyen paramétereket tartalmaz. Az azonosító után a kódban meghatározásra kerül az adatsor hosszúsága (DLC), ami azt írja le hány byte lesz az adatunk, ezt követően jön a hosszúságnak megfelelő adatsorunk. Az első táblázatban az alábbiakban leírt felépítés alapján egy a radarból érkező CAN kód figyelhető meg. A kód tartalmazza az érzékelt céltárgyhoz tartozó információkat.

ID	DLC	0	1	2	3	4	5	6	7
60B	8	29	4E	DC	3	80	60	86	6F
1	0	1	0	0	1	1	1	1	0
2	1	1	0	1	1	1	0	0	0
Signal	Start	Len	Offset	Min	Max	Res	Unit		
Object_DistLong	19	13	-500	-500	+1138,2	0,2	m		



3. ábra: CAN adatsor felépítése

A kódból kiemeljük a céltárgy és a radar közötti X irányú távolságot, amelyet a radar dokumentációja Object_DistLong néven tart számon és a harmadik táblázatban az ehhez tartozó értékek figyelhetők meg. Minden egyes adathoz tartoznak az alábbi információk: Kezdő bit (Start), adathosszúság (Len), eltolás (Offset), minimum érték (Min), maximum érték (Max), felbontás (Res), mértékegység (Unit).

Az információknak a birtokában ki is tudjuk nyerni a számunkra szükséges adatot a CAN kódból. A 8 byte hosszú adatsorunkból egy 64 bit hosszúságú adatsort kapunk. Megvizsgáljuk a 19. bittől kezdődő bináris számsort 13 bit hosszúságban, és átváltjuk decimális számmá:

$$0100111011011_2 = 2523_{10}.$$

A következő lépés, hogy alkalmazzuk az alábbi képletet, amely, az előbb megkapott decimális számot és az X irányú távolság adathoz tartozó felbontást és eltolást tartalmazza:

$$X \text{ irányú távolság: } (\text{Dec} * \text{Res}) - \text{Offset} = \text{távolság}$$

$$X \text{ irányú távolság: } (2523 * 0,2) - 500 = \mathbf{4,6 \text{ m}}$$

Végeredményül megkaptuk, hogy X irányban a céltárgy 4,6 méterre helyezkedik el tőlünk.

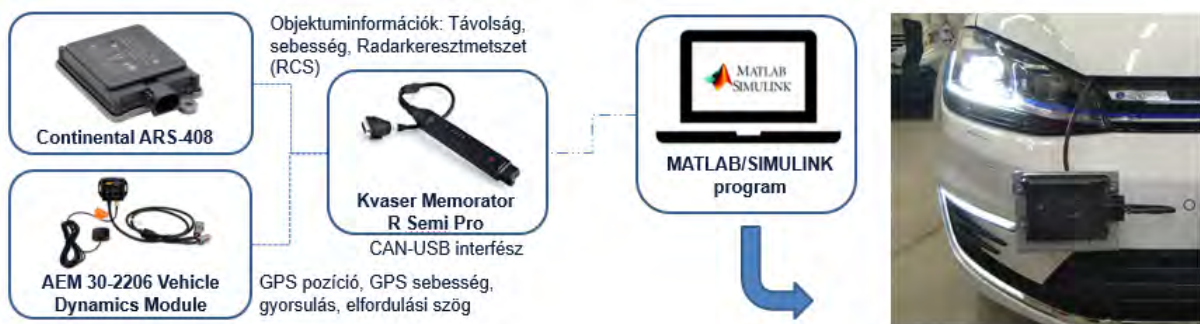
A dekódoló fájl, amelyet a radar dokumentációja alapján készítettünk tartalmazza az összes kinyerhető adathoz tartozó információt, továbbá azokat, amelyek a radar programozásához és beállításához szükségesek.

A mérőrendszer felépítése:

- Continental ARS-408: 77 GHz Long Range Radar. A radar képes clusterek és objektumok érzékelésére, megkülönböztetésére. A cluster bármilyen felületről való pontszerű radarjel reflektálódás lehet. Az objektumok már olyan clusterek, amelyeket a radar algoritmus útján egybefüggő objektumoknak tekint. A radart CAN hálózaton keresztül lehet programozni, hogy milyen funkciók és szűrő paraméterek legyenek aktívak.

- Kvaser Memorator R SemiPro: Két csatornás “CAN to USB” interfész, amely önmagában is képes adatrögzítésre. A tokozását illetően, egy IP65-ös szabványú gumírozott tokban van elhelyezve, így ellenáll a legtöbb ütésnek, esésnek, vibrációnak. Képes mind a 11-bites és 29-bites CAN kódok olvasására (CAN 2.0A és CAN 2.0B). Két mikroszekundumos időbélyeg pontossággal látja el az adatokat, így mindig pontos adatokat küld, illetve 20000 CAN üzenet fogadására és küldésére képes másodpercenként.
 - AEM 30-2206 Vehicle Dynamics Module: Az AEM Vehicle Dynamics Module (VDM) egy CAN bus-kompatibilis eszköz, integrált 50 Hz-es 3 tengelyes gyorsulásmérővel, 50 Hz-es 3 tengelyes giroszkóppal és gyors, nagy pontosságú 20 Hz-es GPS + GLONASS egységgel a nagy pontosságú pozícióérzékelés érdekében. A VDM GPS + GLONASS funkciója biztosítja a jármű sebességét, pozícióját, irányát.
- [3]

A radart egy egyedi tartó segítségével a vonószemre rögzítettük és pozícionáltuk a dokumentációban leírtak alapján vízszintes és függőleges irányban. A GPS antennát a jármű tetejére helyeztük el. A mérőrendszer többi eleme a jármű utasterében kapott helyet.

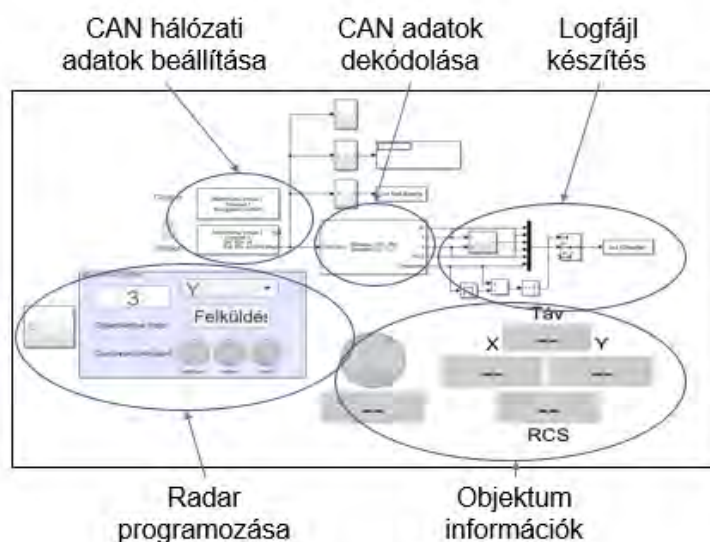


4. ábra: Mérőrendszer felépítése

A mérőrendszerhez készített MATLAB/SIMULINK programot 5 fő részre lehet bontani:

1. CAN hálózati adatok beállítása: A programnak ezen része tartalmazza a Simulink és a CAN hálózat közötti alapbeállításokat. Meg kell adni egy konfigurációs blokkal, hogy az adott vizsgálni kívánt hálózat milyen bus sebességet használ. Egy úgynevezett “CAN Receive” blokkal kaphatjuk meg a CAN hálózaton érkező adatokat.

2. Radar programozása: A “CAN Transmit” blokkal tudunk CAN kódokat visszaküldeni a hálózatra, a megfelelő kódokkal programozhatók a radar tulajdonságai. Ilyen lehet például a radar látótérének a beállítása.
3. CAN adatok dekódolása: Az adatkinyerés áll egy “CAN unpack” blokból, amely egy dekódoló fájl segítségével a CAN msg jelből a számunkra vizsgálni kívánt adatokká alakítja át az adatsort.
4. Logfájl készítés: Ahhoz, hogy az adatokat menteni lehessen táblázatba egy “MUX” blokkal az adott “double” adatokból “array” formátumúakat készítünk, amelyet már egy “out” blokkal Matlab-ban lehet menteni táblázatos formában.
5. Objektum információk: A program ezen részének feladata, hogy a mérés során az objektum minden fontos pillanatnyi információját megfigyelhessük.



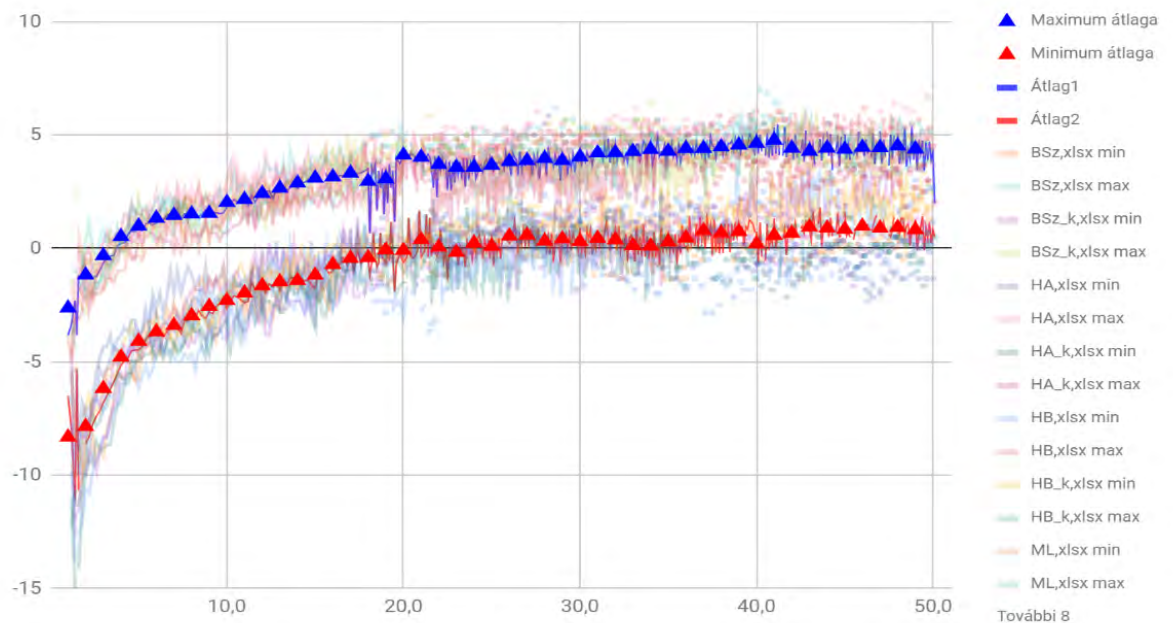
5. ábra: MATLAB/SIMULINK program felépítése

Mérések a ZalaZONE Járműipari Tesztpályán

A vizsgálatainkat a ZalaZONE Járműipari Tesztpályán végeztük. A mérések közül egy-két eredmény kerül bemutatásra. A radar látótávolságát mindig a vizsgálat alapján határozzuk meg és programozzuk. A radart a jármű elejére rögzítettük. A céltárgyakat az autó előtt helyeztük el. A vizsgálat során ~ 30 km/h sebességgel haladtunk, ~ 0-50 m között vizsgáltuk az objektumokat.

a) Gyalogosok vizsgálata:

6 embert vizsgáltunk meg kabáttal és kabát nélkül. 30° fokenként 3 db mérést végeztünk, összesen 432 db mérés. Minimum és maximum értékeket vizsgáltuk, ezért kiszűrtük az egyes méréseknél minden távolságra a legmagasabb és legalacsonyabb kapott értékeket. Annak érdekében, hogy ne domináljanak a nagyon kiugró értékek, átlagoltuk a kapott minimumokat és maximumokat. A trendvonalakat közel azonos módon visszakaptuk, mint ami a szakirodalmakban megtalálható a gyalogosokra vonatkozóan (2. ábra). A mért értékeket az alábbi diagrammon ábrázoltuk.

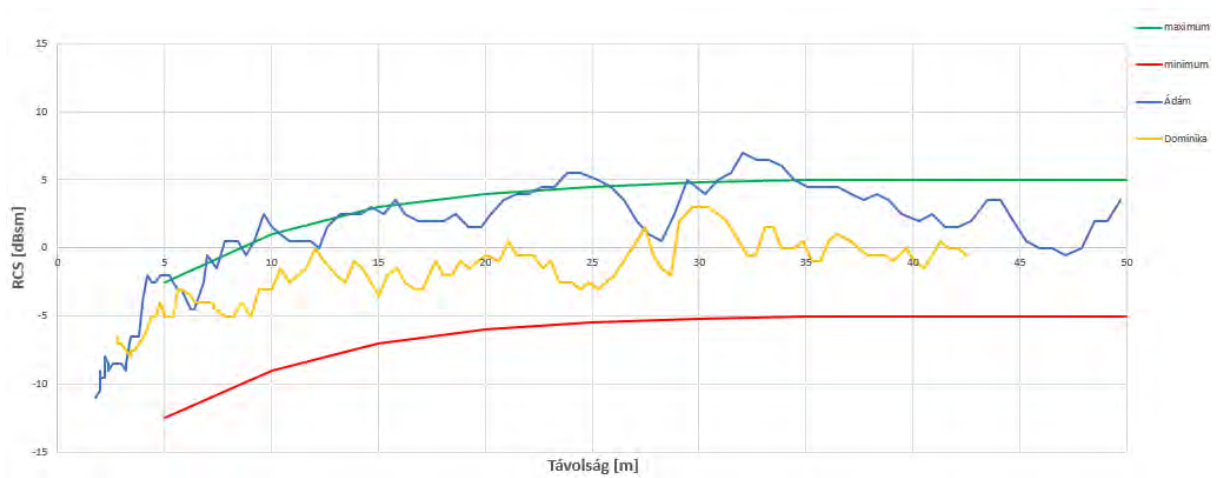


6. ábra: Gyalogosok vizsgálatának eredménye

A vizsgált gyalogosok közül a két legkülönbözőbb keresztmetszeti értékeinek összehasonlítása figyelhető meg az alábbi diagrammon, amikor 180°-os szögben álltak a járműhöz képest.

	<u>Ádám</u>	<u>Dominika</u>
Távolság:	185 cm	160 cm
Öltözék:	Protektoros bőrkabát	Pulóver

Fénykép:

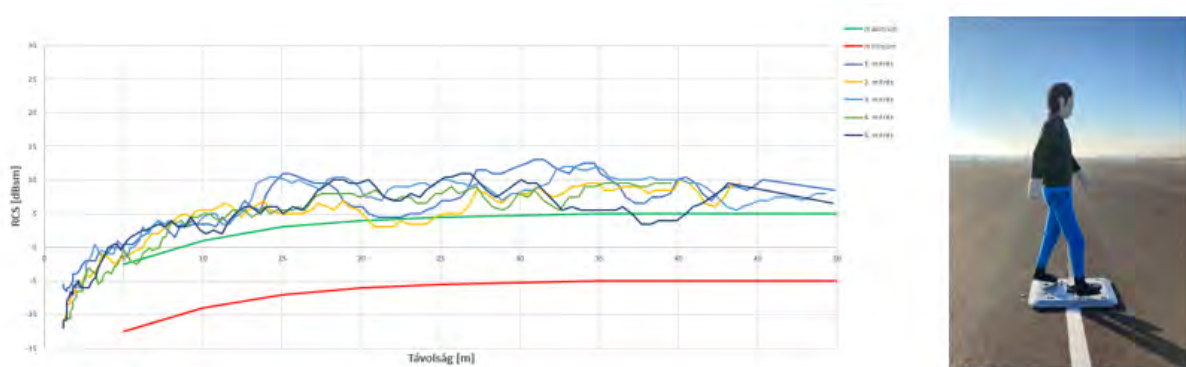


7. ábra: Szélsőséges gyalogosok közti különbségek

A diagrammon jól megfigyelhető, hogy vizsgált gyalogosok közül a két legkülönbözőbbnek is, szinte minden esetben a megengedett határok között mozgott a mért értékük.

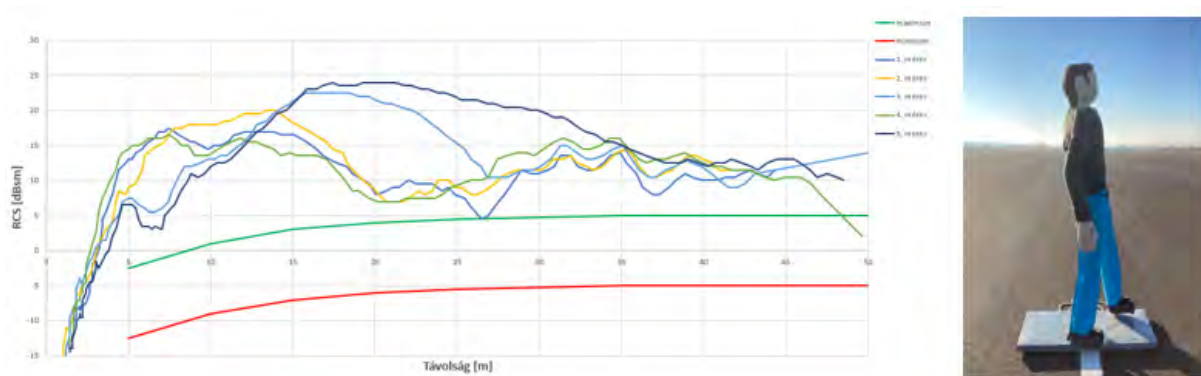
b) Dummy bábuk vizsgálata:

4 active system által gyártott szabványos dummy bábút vizsgáltunk radar keresztmetszet szempontjából. A mérési eredményeken jól látszik, hogy a bábu értékei bár a megengedett maximum felett vannak, egészen megközelítik a felső határt, amely egy gyalogost jellemez. A diagrammon öt egymás utáni mérés eredménye látható.



8. ábra: 4 active dummy mérési eredményei

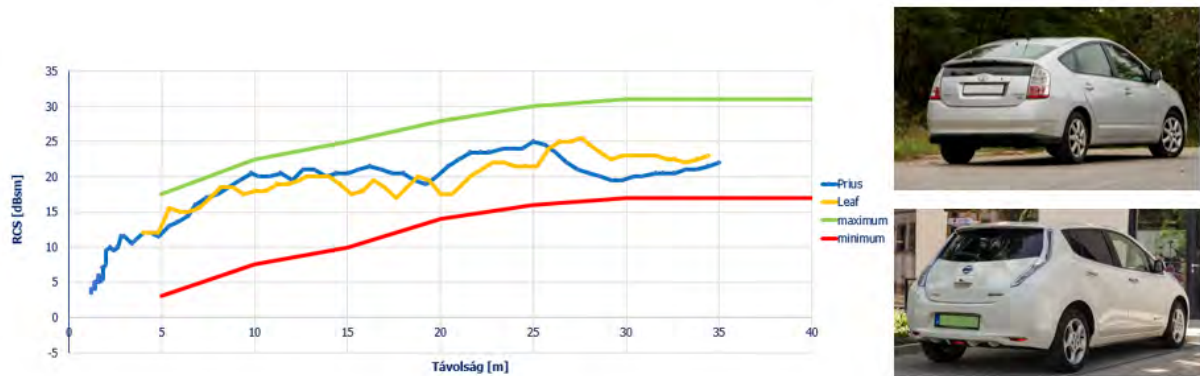
Továbbá, egy fejlesztés alatt álló prototípus dummy-t is megvizsgáltunk, melynek értékei jóval eltértek a gyalogosoknál mérhető értékektől. A diagrammon öt egymás utáni mérés eredménye figyelhető meg, amelyek kissé távolodnak a megengedett maximum értéktől.



9. ábra: Prototípus dummy mérési eredményei

c) Járművek vizsgálata:

Egy Toyota Prius-t és Nissan Leaf-et hasonlítottunk össze radarkeresztmetszet szempontjából. A mérés alapján bebizonyosodott, hogy két elég hasonló személygépjárműnek közel azonosak a keresztmetszeti értékei a távolság függvényében.



10. ábra: Jármű radar keresztmetszet mérési eredmények

Összegzés

Összeállítottunk egy olyan mérőrendszert, amely egy autóiipari radar segítségével képes különböző céltárgyak vizsgálatára. A mérőrendszerrel számos különböző mérést végrehajtottunk. Eleinte statikus méréseket végeztünk, majd áttértünk a dinamikus vizsgálatokra, amely abszolút reprezentálja a valóságot. Minden esetben alkalmasnak bizonyult a rendszer a céltárgyak távolságának, sebességének és radarkeresztmetszetének a vizsgálatára. A radarok komponens szintű vizsgálata már nem elegendő. Fontos, hogy járműszinten vizsgáljuk és validáljuk.

Az autonóm jármű koncepció megvalósításához a szenzorok és radarok tesztelhetősége ugyancsak kulcsfontosságú elem, hiszen a jármű ezek mentén tájékozódik. A vizsgálat során jól látható a rendszerek bizonytalansága, így a továbbiakban is nagy relevanciája van, hogy ezeket tesztelni tudjuk. A tevékenységhez hozzájárul a Radar tesztelési Központ (labor) és a fizikai tesztkörnyezet.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

[1] Tóth Ferenc: A radartechnika alapjai

<https://www.magyar-elektronika.hu/34-tartalom/tartalom/1473-a-radartechnika-alapjai-1-resz-toerteneti-attekintes> Hivatkozva: 2021.11.28.

[2] Articulated pedestrian target specifications

https://www.acea.auto/uploads/publications/Articulated_Pedestrian_Target_Specifications_version_1.0.pdf Hivatkozva: 2021.11.29.

[3] AEM Performance 30-2206 VDM Instruction Manual

https://www.aemelectronics.com/sites/default/files/aem_product_instructions/30-2206-Vehicle-Dynamics-Module-Instructions.pdf Hivatkozva: 2021.11.29.

RGB pontfelhő létrehozásának irodalmi áttekintése

Literature Review of RGB Point Cloud Creation

Krecht Rudolf

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Az önvezető járművek és mobil robotok autonóm irányítása során egyaránt fontos szerepet játszik a környezetészlelés, vagyis az a folyamat, amely során a jármű szenzorai által gyűjtött adatokat algoritmusok értelmezik és az adott jármű navigációja szempontjából használható adatokká alakítják. A környezetészlelés és az alkalmazott szenzorok között fontos összefüggés van. A robusztus környezetészlelési megoldások lehetővé teszik költséghatékonyabb szenzorok alkalmazását. Jelen cikk célja a kamera és lidar szenzorok fúziója által kialakítható RGB pontfelhők létrehozásának vizsgálata szakirodalmi áttekintés révén. Az áttekintés hosszútávú célja olyan környezetészlelési megoldás kialakítása, amely költséghatékonyabb fedélzeti érzékelők használata mellett is alkalmas a navigációhoz megfelelő minőségű környezetészlelést biztosítani.

Kulcsszavak: RGB pontfelhő, környezetészlelés, kamera-lidar fúzió

Abstract: In case of the autonomous control of both self-driving vehicles and mobile robots, environment perception, the process by which data collected by the vehicle's sensors is interpreted by algorithms and converted into data that can be used for navigation, plays an important role. There is an important link between environment perception and the sensors used. Robust environment detection solutions allow the use of more cost-effective sensors. The aim of this paper is to discuss the creation of RGB point clouds by fusing camera and lidar sensors through a literature review with the long-term goal of developing an environment perception solution that can provide navigation-quality environmental sensing using more cost-effective on-board sensors.

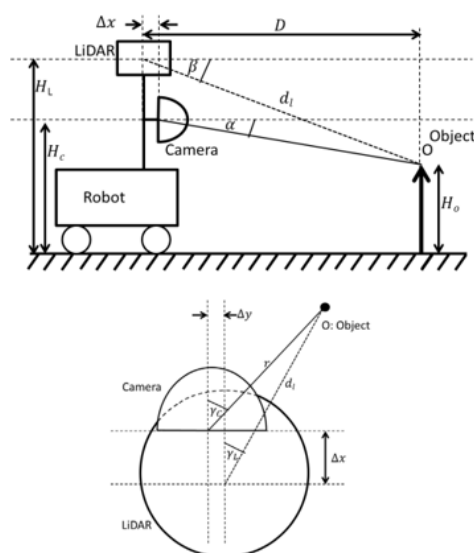
Keywords: RGB point cloud, environment perception, camera-lidar fusion

Bevezetés

Mivel a kutatott téma számos környezetészlelési megoldást ötvöz, fontos kiemelt hangsúlyt fektetni a kutatási időszak bevezető szakaszában a 3D RGB pontfelhők létrehozására vonatkozó irodalomkutatásra. Az irodalomkutatás forrásaként folyóiratcikkeket, konferenciaközleményeket, doktori disszertációkat, valamint egyéb műszaki eredményeket (pl. esettanulmányok, jegyzőkönyvek) egyaránt alkalmaztam. A források keletkezésének időtartamát 2016-2021 közöttként határoztam meg az RGB pontfelhő létrehozásának módszerére vonatkozóan. Egyéb, kiegészítő megoldások tekintetében nem állapítottam meg időbeli megkötéseket. A megjelenés helyére és nyelvére vonatkozóan nem vonatkoztattam korlátokat, az elérhető és értelmezhető forrásokat bevontam az irodalomkutatásba.

3D RGB pontfelhő létrehozása

A 3D RGB pontfelhő létrehozásának folyamata lidar és monokamera érzékelők adatainak fúziója által valósul meg. A folyamat az adatpontok illesztése által jön létre, amely lehet geometriai illesztési eljárás, vagyis a LIDAR érzékelő által létrehozott távolságvértékek kamera által rögzített képek pixeleihez való rendelése (1. ábra). A hozzárendelés során általában kihívást jelent az, hogy a kamerakép felbontása nagyobb, mint a LIDAR pontfelhő felbontása. Ebben az esetben a hozzárendelés Gauss folyamat regresszió segítségével történik. Az eljárás megoldást ad a geometriai illesztés esetleges hibáira is.

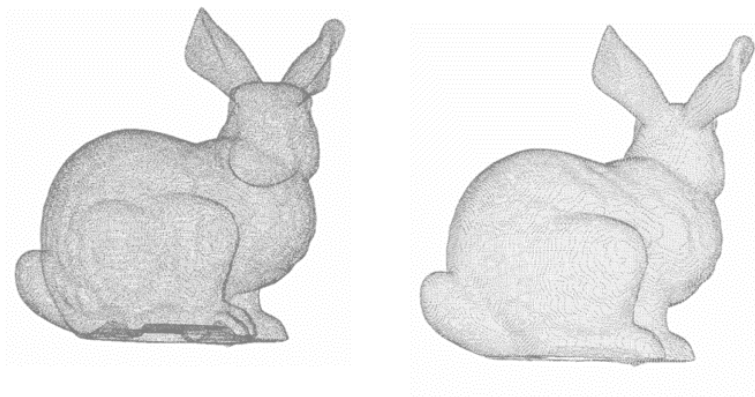


1. ábra: LIDAR és kameraadatok fúziója

Bár a kutatási téma dinamikus alkalmazásokra fekteti a hangsúlyt, az alkalmazott módszerek hasonlósága miatt kitértem a statikus eljárások vizsgálatára is. A megoldások célja lidar és kamera érzékelők adataira alapozva szín információval rendelkező 3D-pontfelhők kialakítása, amelyeket textúrával rendelkező hémmodellekké alakíthatnak. Az alkalmazott matematikai módszerek elvei járműveken történő dinamikus alkalmazások során is alkalmazhatónak bizonyulhatnak.

A SLAM algoritmusokra vonatkozó szakirodalom azért fontos, mert egyes implementációk során szintén keletkezhet 3D RGB pontfelhő. Céлом SLAM algoritmusok tesztelése 3D RGB pontfelhők létrehozása tekintetében, ugyanis egyszerűbb, könnyebben definiálható beltérekben alkalmazott, kisebb számítási kapacitással rendelkező mobil robotplatformok esetében jó implementációs lehetőség lehet.

Az átlátszósági probléma vizsgálata különösen fontos kamera és lidar egyidejű alkalmazása során. A probléma abból adódik, hogy a lidar nem kizárólag az előtte megjelenő síkot érzékeli, pontfelhőt rögzít az objektumok mögötti területekről is. A kamera viszont kizárólag az előtte vetülő síkot érzékeli. Hibaforrást eredményezhet az is, hogy a kamera és a lidar technikai okokból csak bizonyos eltolással helyezhető el egymáshoz képest. A problémaforrásokból adódóan a pontfelhőn tükröződések jelennek meg, a színinformáció ponthoz való rendelése pedig nem mindig egyértelmű. Lehetséges megoldás a keletkező felületek normálvektorának megadása, ponttérfogatok meghatározása vagy alkalmazásnak megfelelő célalgoritmus alkalmazása.



2. ábra: Átlátszósági probléma szemléltetése

A szakirodalom további problémaként jelöli meg 3D RGB pontfelhők létrehozásának tekintetében a lidar és a kamera adatainak időbeni szinkronizációját. Problémát jelenthet, továbbá az algoritmusok valósídejű alkalmazhatósága járművön elhelyezhető számítási egységen.

Összefoglaló, lehetséges alkalmazások

A kutatás-fejlesztési folyamat eredménye két területen kínál potenciális alkalmazási lehetőséget, az egyik az önvezető közúti járművek, a másik a beltéri és kültéri mobil robotok. Önvezető járművek esetén a környezetdetektálás, feltérképezés komplex feladat. Komplex közúti scenáriók esetében több környezetérzékelési algoritmus párhuzamos alkalmazása szükséges annak érdekében, hogy kialakuljon a navigációhoz szükséges lokalizáció. Jelen kutatás-fejlesztési folyamat alkalmazhatósága a költséges lidar érzékelők alkalmazásának mellőzése miatt már ismert, korábban feltérképezett lokációk esetén magas. Ismeretlen területek esetén jó lehetőség a megoldás további környezetérzékelő algoritmusokkal történő együttes alkalmazása. Mobil robotplatformok esetén kifejezetten a beltéri alkalmazásoknál rendelkezik jó alkalmazhatósággal a kutatás-fejlesztési folyamat eredménye. Az ipari alkalmazású mobil platformok esetén új igény a robotok útvonalának gyors újrakonfigurálhatósága. A jelenleg alkalmazott, környezeti modell nélkül, mágnespályák követése által működő platformok útvonalának újradefiniálása a pálya, tehát a gyár újraépítésével jár. A hagyományos környezetmodellel működő robotok működése nem kellően következetes és megbízható. A 3D RGB pontfelhő alapján működő robotplatformok ötvözik a két megoldás előnyeit, kiküszöbölve azok hátrányait. Amennyiben a robotplatform útvonalának rekonfigurációja szükséges, elegendő egy lidar szenzorral felszerelt *mesterrobot* segítségével új 3D RGB pontfelhőt rögzíteni, ezt követően már a kizárólag kamerával felszerelt robot is képes lesz az útvonal lekövetésére, elérve a gyors rekonfigurálhatóságot és az alacsony hardverköltséget. A megoldás szemléltetésére alkalmas példa egy havi szinten rekonfigurált szerelőüzem, amelyet mobil robotplatformok szolgálnak ki, ezen esetben minden rekonfigurációt követően a mesterrobot újra feltérképezi a környezetet, ezzel lehetővé téve az épület bejárását épített markerek (pl. padlóba épített szalag) nélkül. A lidar érzékelő költsége nagyságrendileg 3 millió Ft, a mélységkameráé 250 ezer Ft. Lidar érzékelő alkalmazása, vagyis a mesterrobot esetén további költségvonzata van a lidar érzékelő adatainak feldolgozására szolgáló számítási egységnek.

Fontos megemlíteni, hogy a lidar alapú környezetészlelési folyamat időigényesebb a kameraalapú bejárásnál, a pontos időbeni eltérés az alkalmazott érzékelők és számítási egységek ismeretében határozható meg.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] Berrio, Julie Stephany, Mao Shan, Stewart Worrall, és Eduardo Nebot. „Camera-LIDAR Integration: Probabilistic Sensor Fusion for Semantic Mapping”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021.
- [2] Cheng, Yi, és Gong Ye Wang. „Mobile robot navigation based on lidar”. In *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 1243–46, 2018.
- [3] Cui, Yaodong, Ren Chen, Wenbo Chu, Long Chen, Daxin Tian, Ying Li, és Dongpu Cao. „Deep Learning for Image and Point Cloud Fusion in Autonomous Driving: A Review”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021.
- [4] Dieterle, Thomas, Florian Particke, Lucila Patino-Studencki, és Jörn Thielecke. „Sensor data fusion of LIDAR with stereo RGB-D camera for object tracking”. In *2017 IEEE SENSORS*, 1–3, 2017.
- [5] Ding, Yuqi, Jiaming Liu, Jinwei Ye, Weidong Xiang, Hsiao-Chun Wu, és Costas Busch. „3D LiDAR and Color Camera Data Fusion”. In *2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, 1–4, 2020.
- [6] Duchoň, František, Michal Tölgyessy, L’uboš Chovanec, Peter Pásztó, Andrej Babinec, és Pavol Gardian. „RGB-D map for robot navigation”. In *2014 ELEKTRO*, 154–58, 2014.

- [7] Gatesichapakorn, Sukkpranhachai, Jun Takamatsu, és Miti Ruchanurucks. „ROS based Autonomous Mobile Robot Navigation using 2D LiDAR and RGB-D Camera”. In *2019 First International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP)*, 151–54, 2019.
- [8] Hwang, Soonmin, Namil Kim, Yukyung Choi, Seokju Lee, és In So Kweon. „Fast multiple objects detection and tracking fusing color camera and 3D LIDAR for intelligent vehicles”. In *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2016*, 2016.
- [9] Kim, Taek-Lim, Jae-Seol Lee, és Tae-Hyoung Park. „Fusing Lidar, Radar, and Camera Using Extended Kalman Filter for Estimating the Forward Position of Vehicles”. In *2019 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, 374–79, 2019.
- [10] Kocić, Jelena, Nenad Jovičić, és Vujo Drndarević. „Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles”. In *2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR)*, 420–25, 2018.
- [11] Liu, Xin, Baiwei Guo, és Chao Meng. „A method of simultaneous location and mapping based on RGB-D cameras”. In *2016 14th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)*, 1–5, 2016.
- [12] Mendez, Javier, Miguel Molina, Noel Rodriguez, Manuel P. Cuellar, és Diego P. Morales. „Camera-lidar multi-level sensor fusion for target detection at the network edge”. *Sensors* 21, sz. 12 (2021).
- [13] Wang, Zining, Wei Zhan, és Masayoshi Tomizuka. „Fusing Bird’s Eye View LIDAR Point Cloud and Front View Camera Image for 3D Object Detection”. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, Köt. 2018-June, 2018.
- [14] Yenaydin, Yasin, és Klaus Werner Schmidt. „Sensor Fusion of a Camera and 2D LIDAR for Lane Detection”. In *2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1–4, 2019.
- [15] Yohannan, Biji, és D. Abraham Chandy. „A novel approach for fusing LIDAR and visual camera images in unstructured environment”. In *2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 1–5, 2017.
- [16] Zou, Runyang, Xueshi Ge, és Geng Wang. „Applications of RGB-D data for 3D reconstruction in the indoor environment”. In *2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC)*, 375–78, 2016.

Járművezető mozgás-detektálása kamerakép elemző rendszer segítségével

Camera image analysis system for driver motion detection

Nagy Viktor^a, Krecht Rudolf^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék, Járműipari Kutatóközpont

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: A megváltozott és megnövekedett számú funkciók kezelése kihívást jelent a járművezető számára és jelentősen fokozza a kognitív terhelést. Egyre több funkció és ehhez mérten több kezelőszerv került a járművekbe. Eleinte a gombok, toló- és forgókapcsolók száma növekedett meg jelentősen, mely a kezelhetőség, átláthatóság rovására ment. A kijelzők és érintőképernyők fejlődésével új lehetőséget kaptak a járműgyártók, melyhez megfelelő szoftveres fejlesztéseket kellett végezniük. Vajon a kezelés összetettsége, az átláthatóság romlása csökkenti-e a közlekedés biztonságát? A járművezető megfigyelése kamerás mozgás-detektáló rendszerrel alkalmas a jármű fedélzeti rendszerek minősítésére, vizsgálati rendszer kifejlesztésére.

Kulcsszavak: járművezető figyelése, mozgás-detektálás, kamerakép elemzés

Abstract: Dealing with the altered and increased number of functions is a challenge for the driver and significantly increases the cognitive load. More and more functions and more controls have been added to vehicles. At first, the number of buttons, sliders and rotary switches increased significantly. This, in turn, was at the expense of manageability and transparency. With the development of displays and touch screens, vehicle manufacturers have been given a new opportunity to make appropriate software developments. Does the complexity of treatment, the deterioration of transparency, reduce traffic safety? Driver surveillance with a camera motion detection system is suitable for the qualification of vehicle on-board systems and the development of a test system.

Keywords: driver monitoring, motion detection, camera image analysis

Bevezetés

A háztartási, hordozható és professzionális felhasználású elektronikában megjelentek a kapacitív érintőképernyők, melyek megbízhatóságukkal megteremtették a fejlesztési potenciált az autópárnak a sokasodó funkciók kezelésére. A menürendszer, központi vezérlési megoldások és (többségében) az érintőképernyő vette át a korábbi fizikai gombok szerepét. Mivel az érintőképernyő nem rendelkezik fizikai gombokkal, így kezelése nagyobb figyelmet követel, miközben a környezeti tényezőket háttérbe kell szorítania a járművezetőnek. A járművezető megfigyelése, kamera és képfeldolgozó rendszer segítségével történő mozgás detektálása elsődleges vizsgálati metódus a közlekedésbiztonságot növelő jármű-kezelőfelületek fejlesztésében.

Kezelőfelület

Az Android Automotive OS (AAOS) az autógyártók által az autókba épített infotainment platform, mely a népszerű Android mobiltelefon szoftver koncepciójára, de zárt struktúrával épült, a Google fejlesztésében. Az AAOS már régóta fejlesztés alatt áll. A projekt 2014-ben indult és legalább az Android 5.0 Lollipop óta létezik. A Google évek óta becsempészi az autópár-központú funkciókat a főbb Android-kiadásokba. Ma az Android Automotive legújabb verziója, amely ténylegesen futtatható még emulátoron is, az Android 10-en alapul. A Polestar 2 személyautó fedélzeti rendszere jelent meg először sorozatgyártásban és az Android 9-re épült, majd 2021 januárjában frissítették a 10-es verzióra. Az Android TV és Wear OS rendszerrel szemben az AAOS nyílt forráskódú. A Google havonta végez biztonsági frissítéseket az AAOS-en, a szokásos biztonsági frissítésekkel együtt, akár az Android rendszerű telefonok esetén. Az AAOS skinnelhető, akárcsak az okostelefonokon az Android. Az autógyártók azt alakíthatnak ki rajta, amit csak akarnak, csak az Android kódbázis, az API-k és az alkalmazások ökoszisztémája változatlan alatta. Lehetőség van arra, hogy Android Studio-ban az AAOS emulátort használjuk, ami az operációs rendszer egy skin nélküli változatát adja. A Dodge és Chrysler típusokban található Uconnect 5 szoftver már az AAOS-re épül, illetve a Peugeot, BMW és további európai típusok is megkaphatják. A Renault a Megane e-tech modelljében vezeti be a rendszert.

A példák közül az látszik, hogy az AAOS egy core rendszer, mely egyedi felülettel, várhatóan jól paramétrezhető, frissíthető és testre szabható, app-okkal bővíthető megoldást ad a járműgyártóknak, miközben a felhasználói élmény is magas fokú, hiszen kellően testre szabható és bővíthető kedvelt, ellenőrzött alkalmazásokkal.

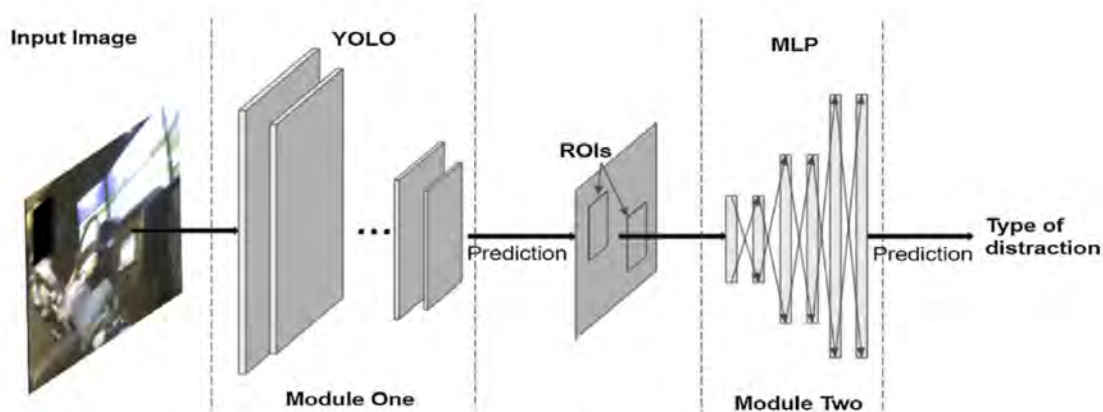
A kutatásunk és vizsgálati rendszerünk során a cél az AAOS rendszer, mint fedélzeti UI felületi rendszerének, rendszer elemeinek használata, tesztelése. Ez első körben a UI grafikai megoldásaira fókuszáltan valósulhat meg.



1. ábra: Polestar 2, az első sorozatgyártású személygépjármű műszerfala AAOS kezelőfelülettel

Képelemző rendszerek

Az irodalomkutatás során, több kamerarendszer segítségével történő vizsgálati módszer részletes leírását találtuk és elemeztük [1, 2, 3]. Az egyik látványos eredményeket hozó módszer két fő modulból állt. Az első modul a You Only Look Once (YOLO), mely egy gyors és robusztus mély neurális hálózatot tartalmaz a tárgyak észlelésére. A második modul a fül és a kéz mozgás-területeinek (ROI) koordinátáit veszi bemenetként és egy többretegű perceptron segítségével következtet a vezető állapotára az ROI-okból. A keretrendszer biztosítja a figyelemelterelés több típusának észlelését.



2. ábra: Két modulós, kamerás megfigyelő rendszer felépítése [2]

A háromdimenziós kamerarendszerek, amelyek a mélységértékelést a hagyományos kétdimenziós képekkel integrálják, mint például a Microsoft Kinect és az Intel Realsense rendszerei ígéretes eszközök a fizikai funkció detektálásában. Pontfelhő- és csontváz-követő („szkeleton”) szoftverekkel kombinálva a fizikai funkció és az anatómia számos különböző aspektusának értékelésére használhatók. Az értékelések nagy érdeklődésre tartottak számot az elmúlt évtizedben és valószínűleg további tanulmányok tárgyát fogják képezni, ahogy a mélységérzékelés és a kiterjesztett valóság okostelefonos kamerák integrációja egyre inkább megjelenik a mindennapi életben.

A kérdés, hogy kiderítsük, hogyan működnek ezek az eszközök, milyen lehetőségek állnak rendelkezésre, melyek a legjobb módszerek az értékelések elvégzésére és hogyan használhatók a járművezető viselkedés, reakció detektálásában. A kísérletek sorát az Intel Realsense kamerával kezdtük, de tervben van a Microsoft Kinect és a Stereolabs ZED sztereó kamera rendszerének összehasonlító vizsgálata is.

Járművezető vizsgáló rendszer

Moduláris járművezető-jármű kapcsolati rendszer vizsgálatára alkalmas mérőrendszer segítségével felmérhetjük a járművezetőt érő hatásokat, kutathatjuk a megoldásokat, fejleszthetünk kezelőfelületeket [4]. A „HUMAN FACTOR”, azaz az emberi tényező kutatása

az ember-gép, jármű-járművezető rendszerben egyre fontosabb, a jármű fokozódó automatizáltsága ellenére [5, 6]. Az ember-gép kooperációt biztosító Human Machine Interface (HMI), illetve User eXperience (UX) kutatására és új szemléletű továbbfejlesztésére van szükség.



3. ábra: Kísérleti szenzorok és kezelőszervek – a kísérleti setup

A jelenlegi kutatás fókuszában a mérőrendszer egyes szenzorainak, szenzor csoportjainak üzembe helyezése, tesztmérések elvégzése volt. Az első szenzor a mozgásdetektálásra alkalmas mélységérzékelő kamera, illetve az ezt támogató adatfeldolgozó egység (hardver és szoftver), mely alkalmas a járművezető „szkeleton” vázának generálására. Az ízületek, mint csomópontok és a felkar, alkar, mint a térben mozgó vonalak leképezésére.

A kísérleti mérőrendszer elemei (3. ábra):

- Környezet: SVL szimulátor
- Megjelenítés: 1 db képernyő
- Irányítás: Genius kormány és pedálok

Detektálás:

- Intel mélységérzékelő kamera
- Neurális feldolgozó egység
- Skeleton SDK
- User Interface: (UI)
- 1 db tablet
- PyQt GUI
- Rendszer integráció: ROS

Mozgásdetektálás

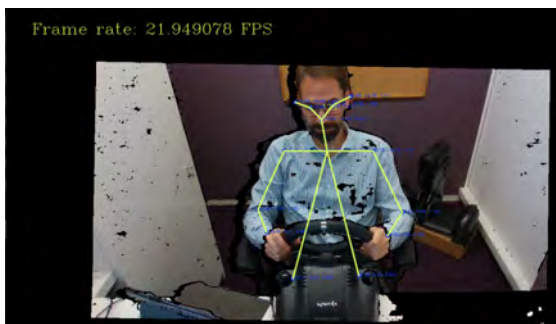
A következő mozgásdetektálási feladatok és lehetőségek merültek fel a tesztek során:

Alapfunkciók:

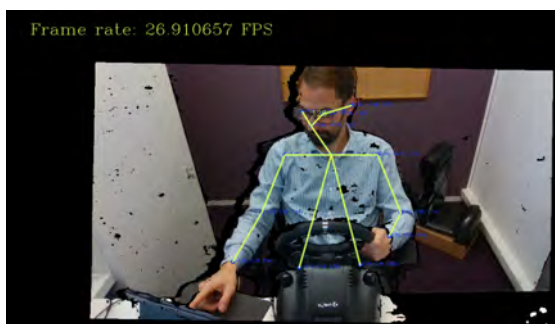
- Emberi fej és végtag felismerése, követése
- „Skeleton” modell megjelenítése
- Csuklópont (ízület) koordináták megjelenítése

Gesztusfelismerés (fejlesztés alatt):

- Kormányfogás egykézzel
- Kormányfogás kétkézzel
- Kormány forgatása (kanyarodás)
- Kormány elengedése
- Érintőképernyő kezelése



a)



b)

4. ábra: Mozgás detektálás – a járművezető az utat figyeli (a), a járművezető az érintőképernyőt kezeli (b)

A tesztekhez használt hardver kiválasztásánál figyelembe vettük a végső rendszer hordozhatóságát és a valós idejű követelményeket. Az elképzelést követve a javasolt rendszer egy Intel RealSense 3D érzékelőből és egy számítógépből áll, melyet egy dedikált adatfeldolgozó egységgel egészítettünk ki (Neural Compute Stick 2). A jelen kutatásban használt Intel RealSense mélységérzékelő kamera a D435i, amely az aktív infravörös (IR), sztereó mélységérzékelő technológia segítségével akár 90 képkocka/másodperc (FPS) sebességgel, széles látószögű kameraegységgel (mélységátló FOV > 90°) lehetővé teszi a mélység rögzítését. A kamera tartalmaz egy dedikált látásprocesszort, amely lehetővé teszi a sztereó mélységadatok valós idejű kiszámítását. A kamera 1080p RGB kamerával szerelt, ami 30-300 cm közötti tárgytávolsággal használható.

A D435i eszközt elsősorban azért választottuk, mert más 3D-érzékelőkhöz képest kicsi (90 mm × 25 mm × 25 mm), könnyen hordozható és egyetlen kábellel csatlakoztatható a számítógéphez (tápellátást és adatátvitelt biztosít) USB 3.0 Type-C-n keresztül.

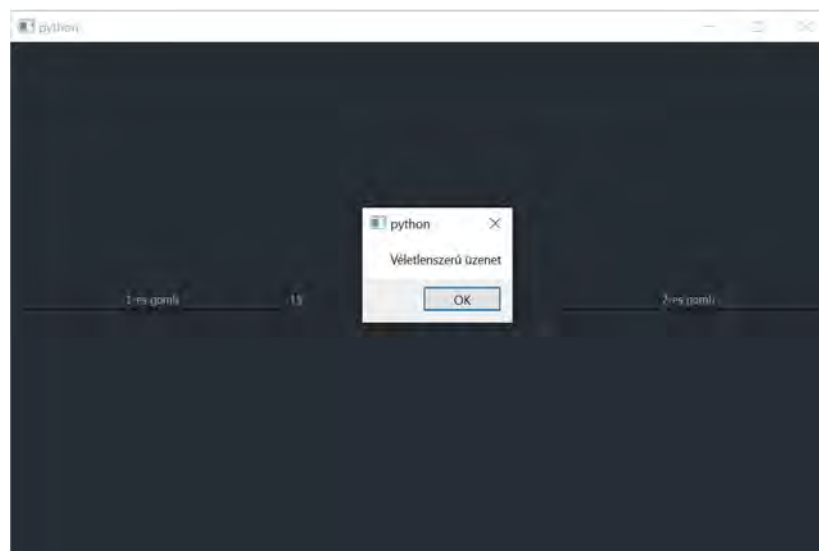
A vezető követéséhez és az ízületek, csontok valós idejű érzékeléséhez a Skeleton SDK-t használtuk. A Skeleton Tracking SDK egy platformokon átívelő 3D mozgáskövető szoftver, amely teljes test csontvázkövetésre képes (akár 18 ízület). A tesztjeink alapján a megfelelő szögben, a járművezetőre fentről 115 fokos szögből „letekintő” kamera az ülő, vezetés közben mozgó csontvázat is képes követni.

User Interface

A User Interface, mely a járművezető reakcióját igényli vezetés közben, mérhetővé téve a kognitív terhelést, reakcióidő csökkenést vagy figyelemzavart, egy érintőképernyő segítségével kerül kivétítésre [7]. A prototípus rendszer PyQt GUI-ban készült és funkciójában leköveti a tervezett teszt módszertant.

A következő tesztfeladatokat kínáljuk fel a járművezetőnek:

- 1-es gomb: nyomásra üzenet jelenik meg a gomb mellett
- 2-es gomb: nyomásra felugró üzenet jelenik meg, elfogadó gombbal
- Véletlenszerű üzenet: random felugró üzenet, elfogadó gombbal (5. ábra)

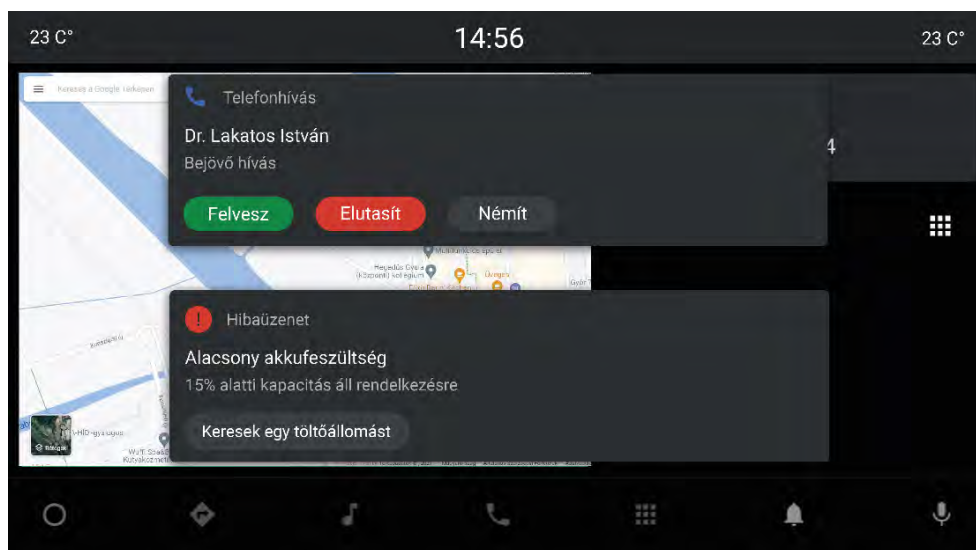


5. ábra: Véletlenszerű üzenet: random felugró üzenet, elfogadó gombbal

Az AAOS dizájn rendszere alapján tervezett GUI (6. ábra) ugyanazokat a funkciókat tudja ellátni, amit a „draft” csupasz funkció gombokkal teszteltünk [8]. A reakció realizitkussá vált azzal, hogy az egyes vezérléseket, gombnyomási ingereket valós kommunikációs kontextusba helyeztük.

A következő szituációk kerültek kidolgozásra:

- Telefonhívás – felvesz/elutasít
- Gomb nem működik
- Alacsony akkufeszültség – figyelmeztetés -> töltőállomás keresése



6. ábra. AAOS GUI terv

Módszertan

Érintőképernyő megbízhatósági vizsgálat:

- Emulált beviteli hibajel
- Reakcióvizsgálat
- A beviteli eszköz – érintőképernyő gombja – megbízhatatlansága figyelemcsökkenést és reakcióidő romlást okozhat.
- A megismételhető vizsgálati módszer kidolgozásával szimulációs és valós környezetben is mérhető adatokat kapunk, melyek elemzése a UI minősítésére adnak lehetőséget – akár egyedi benchmarkok kidolgozásával.

Értesítő és vészjelző ingerek hatása:

- Reakcióidő
- Figyelem
- Ad hoc vészjelzés hatása a vezető figyelmére. A jelzés paramétereit hogyan befolyásolják a vezető figyelmét? Milyen reakcióidőket mérhetünk és milyen beavatkozást várhatunk el a járművezetőtől?

Járművezetői viselkedés-minták felvétele

- Mozdásfigyelő kamera szenzorral
- Szemmozgás-figyelő rendszer bevezetése

Összefoglalás

A cikk célja az, hogy bemutassa a járművezető megfigyelési lehetőségét kamerás rendszerrel. A járművezető figyelemelterelődésének, kognitív terhelésének vizsgálatára a mérhetőség megalapozottsága miatt kísérleti kezelőszerv bevezetését kell megtenni. Az elterjedt, jellemzően alkalmazott érintőképernyős fedélzeti rendszer szimulálása szoftveres környezetben történhet, míg a megfigyelés – információgyűjtés - az egyszerű feladatok elvégzése közben folytatható le. A kísérlet elvégzéséhez több hardver és szoftver összetevő, illetve a kísérleti környezet és tesztalanyok megléte szükséges a továbbiakban.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] Toma, M. I., Rothkrantz, L. J. M., & Antonya, C. (2012). Car driver skills assessment based on driving postures recognition. *3rd IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2012 - Proceedings*, (December), 439–446.
<https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2012.6422021>
- [2] Li, L., Zhong, B., Hutmacher, C., Liang, Y., Horrey, W. J., & Xu, X. (2020). Detection of driver manual distraction via image-based hand and ear recognition. *Accident Analysis and Prevention*, 137(January). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105432>
- [3] Schwarz, C., Gaspar, J., Miller, T., Yousefian, R. (2019). The detection of drowsiness using a driver monitoring system. *Traffic Injury Prevention*, Vol. 20, Supplement 1. Pp. S157-S161, ISSN 1538-9588, <https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1622005>.
- [4] Pradhan, Manas & Ota, Daniel. (2016). An adaptable multimodal crew assistance system for NATO generic vehicle architecture. *2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS)*. 1-8.
<https://doi.org/10.1109/ICMCIS.2016.7496556>
- [5] Kovács, G. (2020). Human Factor Aspects of Situation Awareness in Autonomous Cars – A Psychological Approach. *Acta Polytechnica Hungarica*, 1–18.
- [6] V. Nagy, G. Kovács. Testing Human-Machine Interfaces with a Low-Cost Modular System. *12th IEEE International Conference On Cognitive Infocommunications*, 2021, pp. 669-670.
- [7] Miglani, A. (2017). User Interface design for Highly and Fully Automated Driving: Designing for system trust and comfort in non-driving related tasks, (August).
- [8] Google Design for Driving. Google Developers / Automotive OS / Design System.
<https://developers.google.com/cars/design/automotive-os/design-system/overview>

Új technológiák kihívásai a járműipar példáján

Challenges of new technologies in the automotive industry

Pekk Leticia^a, Hány András^b

^a Zalaegerszegi Technológiai Centrum

^b ZalaZONE Ipari Park Zrt.

Absztrakt: A technológiai trendek változékonysága és néhai kiszámíthatatlansága kihívás elé állítja a piaci szereplőket. Napjainkban a járműipari fejlesztések feltörekvő irányt vettek, hiszen az egyik legnépszerűbb vállalkozás az önvezető járművek megvalósítása fontos szerepet kapott. Az autonóm vezetés lehetővé tételét nemcsak maga az „autonóm jármű” technológiai trend adja, hanem hozzájárulnak további technológiai trendek is. Elengedhetetlen figyelemmel kísérni a technológiai trendek alakulását és egymásra hatását, hiszen a piaci szereplőknek a fejlesztés mellett hasznosítani is szükséges azokat. A cikk célja ezen technológiai trendek adta kihívások feltárása a járműipari ágazatban néhány konkrét példával szemlélítve.

Kulcsszavak: technológiai trend, autonóm jármű, technológiai kihívások

Abstract: The variability and late unpredictability of technological trends poses a challenge to market participants. Nowadays, developments in the automotive industry have taken an upward trend, as the implementation of one of the most popular businesses, self-driving vehicles, has played an important role. Enabling autonomous driving is not only due to the technological trend of the “autonomous vehicle” itself, but also to other technological trends. It is essential to monitor the development of technological trends and their interaction, as market participants need to utilize them in addition to development. The aim of this article is to explore the challenges posed by these technological trends in the automotive sector with some concrete examples.

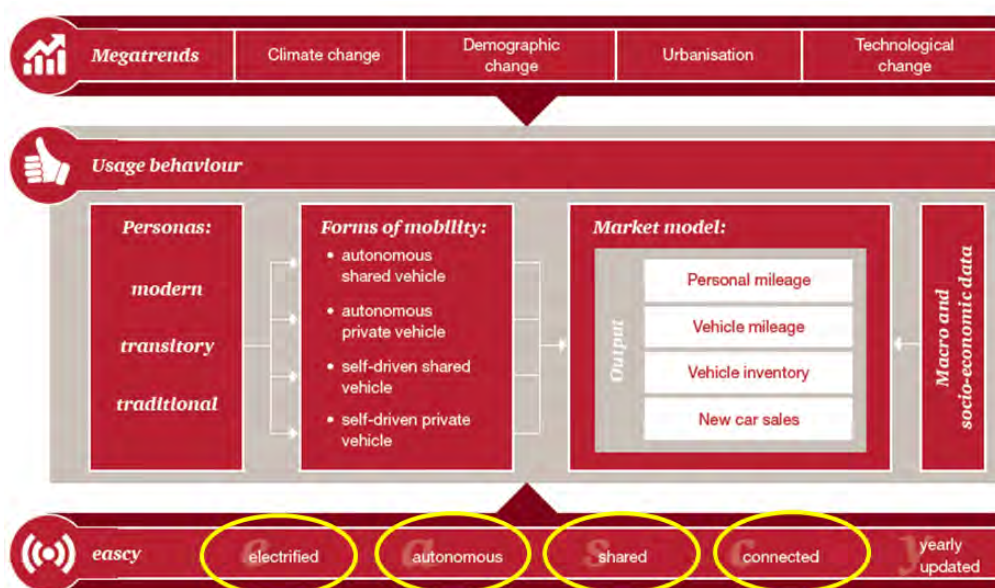
Keywords: technological trend, autonomous vehicle, technological challenges

Bevezetés

A technológiai változások általában egy megatrend jelenségből adódnak. Számos megatrendet ismerünk, ilyen megatrend a városiasodás, a környezeti kérdések és a technológiai fejlődés. A megatrendek sajátossága, hogy hosszú távon vannak jelen, hatásukkal számolhatunk és nem hirtelen lépnek fel. Maguknak a technológiai változásoknak nagy szerepe van, hiszen egyrészt a megatrendekre reagálnak, másrészt valamilyen igényre. A mobilitás és a járműipar területén jelenleg nagy változások mennek végbe, egymással versenyezve a piaci szereplők. Ezen a területen a technológiai változások nagy hatással bírnak, átalakítva az igényeket, illetve reagálnak egy-egy megatrendre.

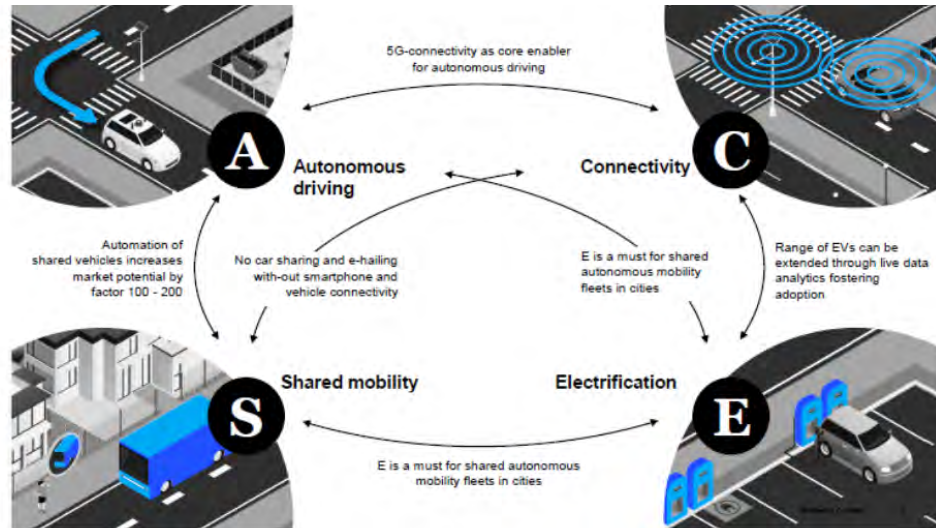
A járműipar technológiai trendjei

A PwC ábrája alapján jól látható az a folyamat, miszerint megatrend jelenségekre reagálnak a technológiai trendek, közte pedig alakítják a felhasználói viselkedést és a piaci modellt. Ennek mentén például a klímaváltozás jelenségére megjelenik a villamosított, autonóm, megosztott és a konnektivitás a járműipari technológiák között, amely befolyásolja a mobilitás formáit. A mobilitás formái átalakulnak például az autonóm megosztott közlekedési formára, amely további hatást vált ki a piaci modellre. A piaci modellből makró és társadalmi-gazdasági adatok változása figyelhető meg, a példa folytatása képpen, így megváltozik az emberek által megtett kilométerek száma vagy akár a megosztott járművek esetében az új járművek eladása.



1. ábra: Megatrendek és technológiai trendek kapcsolata [1]

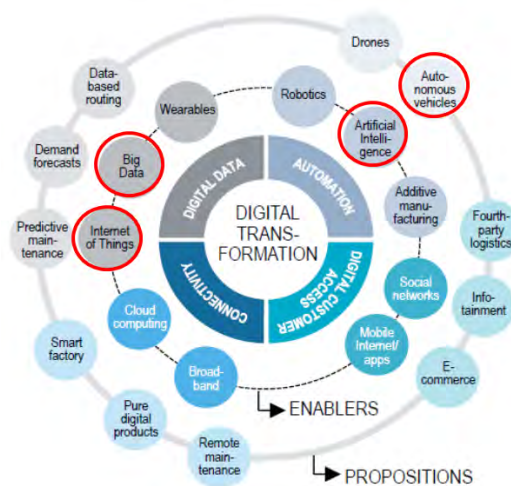
Láthatóan szélessávban megjelennek a technológia okozta hatások, így szintén széles spektrumban szükséges vizsgálni a területet. A járműipar területén a legaktuálisabb technológiai trendek az autonóm vezetés, konnektivitás, villamosítás és a megosztott mobilitás. Fontos megjegyezni, hogy önmagukban nem feltétlen úttörő jelenségek, hanem valamilyen kapcsolat fedezhető fel közöttük, amely a következő ábrán is látható.



2. ábra: A járműipari technológiák négy fő területe

A technológiák egymásközi kapcsolatát újabb technológiák és hatások jellemzik. Megállapíthatjuk, hogy egyes technológiák önmagukban nem elégedők a „fő” technológiával szemben elvárt követelményeknek.

Napjainkban a digitális átalakulás kulcstechnológiája az önvezető mobilitás. A következő ábrán látható, hogy a különböző technológiák között milyen kapcsolat áll fenn és melyek azok, amelyek a digitális átalakulást segítik.



3. ábra: Digitális átalakulás

Látható Roland Berger ábrája alapján, hogy az autonóm járművek technológiájának megvalósításához egy másik technológia szükséges, ami a mesterséges intelligencia. A digitális átalakulás négy meghatározó eleme a digitális adat, automatizálás, digitális vevői elérés és konnektivitás.

A technológia hatásainak értelmezése

A technológiák hatásainak vizsgálatát három szempont mentén végeztük:

- Külső környezet,
- Hajtóerők,
- Hatások.

A külső környezetet a megatrendek határozzák meg, ezen belül is a technológiai trendek és a technológiák diffúziói, így kialakítva a dinamikus környezeti változásokat. A környezeti változásoknak másrésztől hajtóereje is van. Hajtóerő lehet a piac és technológia kapcsolatának push-pull jellemzője, ennek oka a társadalmi igényre való domináns reagálás, különböző technológiákkal való kielégítése és rohamos technológiai fejlődés technológiai nyomásként áll elő, illetve a piaci elvárások növekedés esetében a piaci húzás lép fel. A hatás szempontjából az előző két tényezőt szükséges vizsgálni. Megjelenik az ember és az eszköz, hiszen a technológia fejlődésével szükségessé válik a technológiai kompetenciával való rendelkezés, emellett, maguk a technológiai eszközök szerepe is megnő. Összegezve az új technológiai trendek megjelenését ezen három szempont mentén lehetne vizsgálni, amellyel egyfajta előrejelzés képezhető.

a. Trendek, előrejelzések – ADAS rendszerek fejlődése

Előrejelzési módszerek a technológiák megjelenéséről már állnak rendelkezésre. Ilyen eszköz például a Gartner féle Hype Cycle, amely segítségével megjósolható, hogy az adott technológia vagy innováció mikor lép a termelés szakaszába. A görbe jelzi a különböző szakaszokat a két pont között, ahol a technológiák folyamatosan változnak. A változások történhetnek pozitív és negatív irányba is egyaránt.

Egy technológia az idő során fejlődhet és kezdetleges hátrányai javításra kerülnek vagy nem kerül elfogadásra és el is tűnhet. A következő ábrán látható az autonóm járművek szempontjából néhány technológia trend adott helyzete 2019-ből.



4. ábra: Gartner féle Hype Cycle 2019

Az ábrán néhány kiemelt technológia figyelhető meg és azok várható ideje a termelés eléréséhez. Megállapítható, hogy a különböző technológiák különféle pályán mozognak.

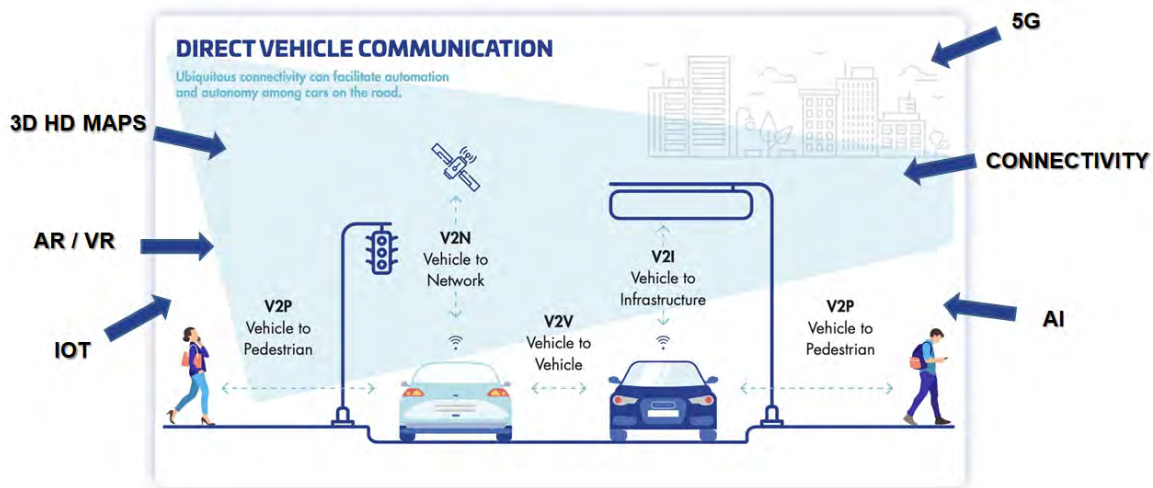
Az ADAS rendszerek fejlődése meghatározó az autonóm mobilitás megvalósításához, ennek elemei a különböző országokban más és más fejlettségi szinten állnak. Roland Berger kimutatása alapján általánosan Nyugat-Európa élenjáró az ADAS rendszerek fejlettségi szintjében, az Egyesült Államokkal és Kínával szemben. Az összefoglaló ábrán látható, hogy 2025-ig a különböző rendszerelemeket milyen mértékben sikerülhet teljesíteni.



5. ábra: ADAS rendszerek fejlettségi szintje USA, EU és Kína

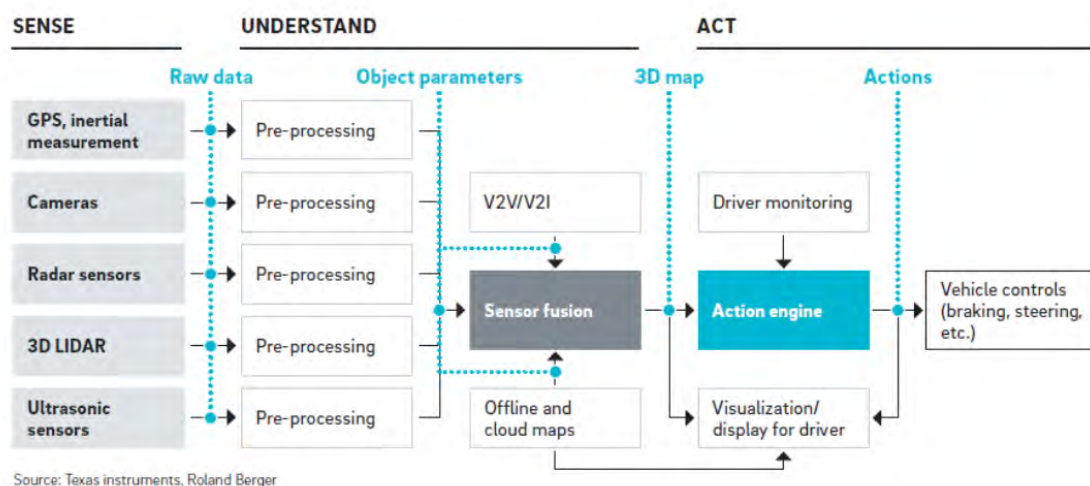
A rendszereket nemcsak a biztonsági szempontok vezérik, hanem kényelmi megoldások is jelentősen befolyásolják, mígnem elérünk a teljesen automatizált járművekig.

A *smart mobility* technológiák, mint a V2X kommunikáció is kiemelkedően fontos az autonóm irányításban. Megállapítható a fentiek alapján, hogy önmagában V2X kommunikáció nem tud megvalósulni csak más technológiák segítségével, emellett a technológiai fejlődés és az idő során elévülhetnek, illetve kerülhetnek be újabb technológiák.



6. ábra: Smart mobility: V2X kommunikáció és más technológiai elemek

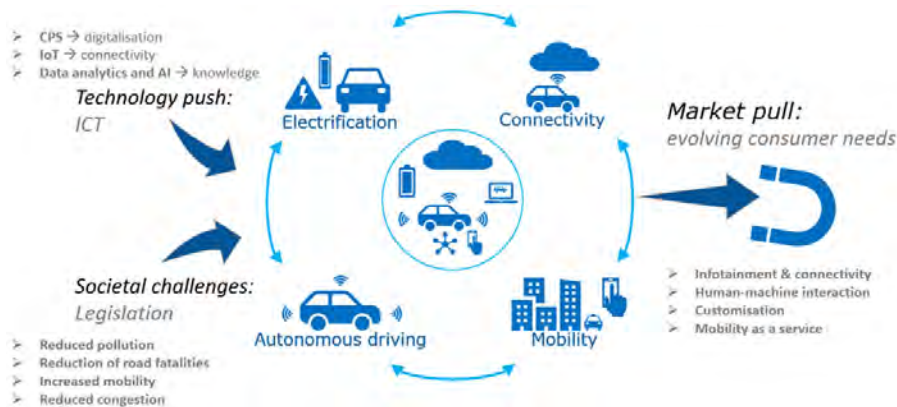
Látható, hogy számos technológiai elem szükséges egy technológiai koncepció működéséhez, továbbá meghatározó elem ezenbelül maga a jármű. Elengedhetetlen, hogy a jármű is a megfelelő fejlettségi szinten álljon és rendelkezzen infrastruktúra elemekkel. A következő ábrán megfigyelhető, hogy milyen bonyolult rendszer szükséges akár a V2X kommunikáció megvalósításához.



Source: Texas Instruments, Roland Berger

7. ábra: Járműrendszer felépítése

Kijelenthető, hogy az ilyen járművek mozgó számítógépeknek tekinthetők és benne számos elem egymás komplementere. Látható és érzékelhető, hogy mindezen megatrendek és technológiai trendek alakítják környezetünket egyre komplexebb megoldások felé. Fontos megállapítás, hogy ezek a technológiák diffundálnak, így erősítve vagy kiegészítve egymást, illetve felülírva egymást, ezen okokból lényeges folyamatosan figyelemmel kísérni alakulásukat és lehetőségeiket. A technológia alakította környezet vizsgálatát követően érdemes szemügyre venni azok mozgató rugóit, vagyis, hogy technológiai *push* vagy piaci *pull* áll-e a háttérben. A következő ábra ezt a kapcsolatot mutatja be néhány példával.



8. ábra: Technológiai nyomás vagy piaci húzás

Piaci húzás esetében felléphetnek olyan társadalmi igények, amelyek a veszély csökkentésére vagy a komfort növelésére irányulnak, erre állnak elő olyan technológiák, amelyek ezeket az igényeket hivatottak kielégíteni. Másrészt a technológiai trendek mellett szükségesek maguk a műszaki eszközök és megoldások. A gondolatmenet összefoglalóját a következő ábra szemlélteti.

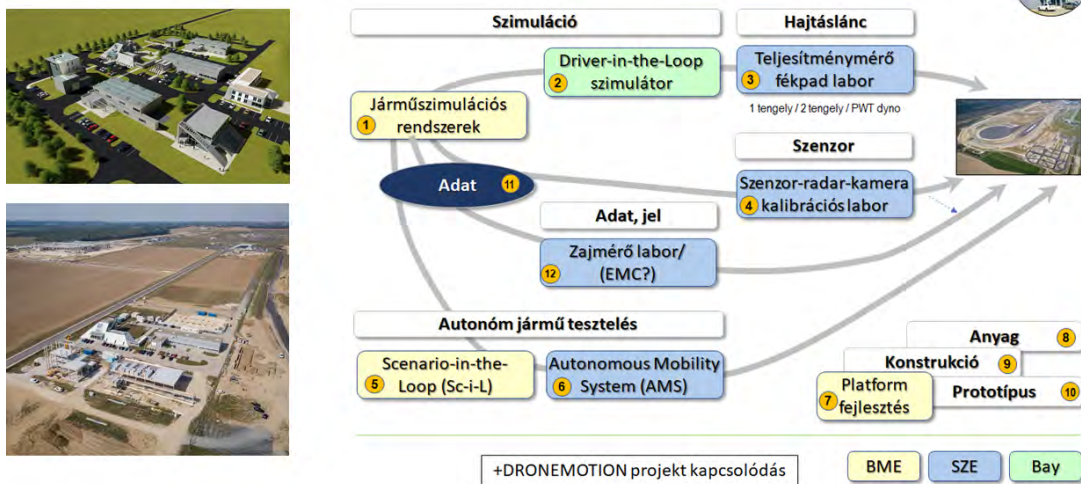


9. ábra: Társadalmi igények és műszaki megoldások

Ezen elméleti vizsgálat mentén igyekszik technológiai és műszaki megoldásokkal válaszolni a kihívásokra a ZalaZONE területén a Széchenyi Egyetem Járműipari Kutató Központ is.

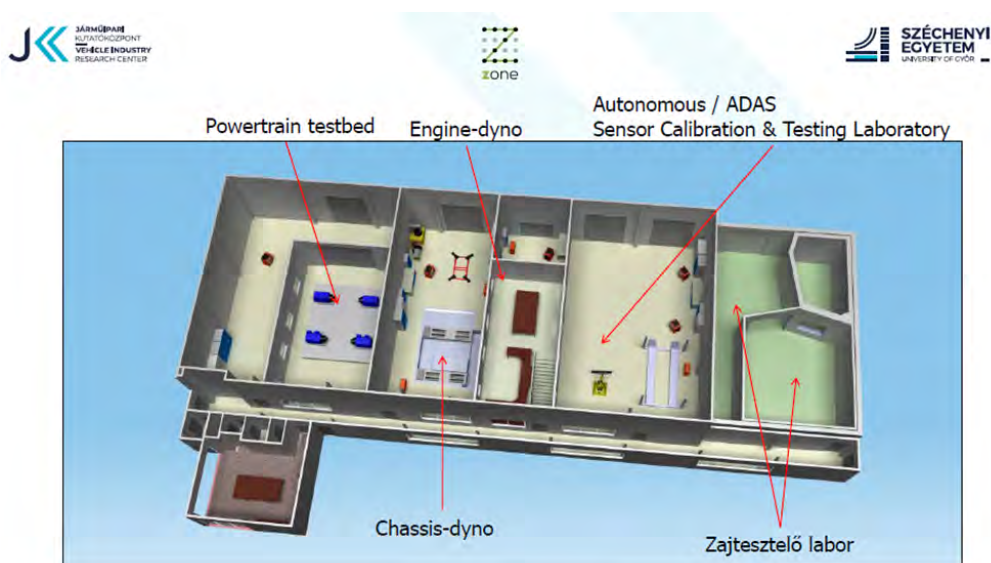
Járműipari Kutatóközpont szolgáltatási profil

A Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpontja olyan technológiai irányokban szeretne kompetenciákat elmélyíteni, mint a szenzor-radar-kamera kalibrációs tevékenységek, teljesítménymérő fékpad mérési tevékenységek, zajmérőlabor mérések és Autonomous Mobility System tevékenységek.



10. ábra: ZalaZONE SZE JKK szolgáltatási portfólió koncepció

A cél a különböző szolgáltatások kombinálása, illetve a többi szereplővel együttműködve válaszolni a piaci igényekre. A szimulációs tevékenységektől a labori méréseken át, a valós környezeti mérésekig terjedne a portfólió, így önmagában unikális koprodukciónak valósul meg.



11. ábra: Műhely és labor modell

A szolgáltatás megvalósításához különböző infrastrukturális elemek kerülnek beszerzésre egy új épületkomplexumba. Nagy előnyt jelent a tesztpálya közelsége a potenciális járműipari leendő ügyfelek számára.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] André de Waal és Julie Linthorst: Future-Proofing the High-Performance Organization, Licensee MDP Sustainability 12(20), (2020)
- [2] PricewaterhouseCoopers GmbH (PwC): Five trends transforming the Automotive Industry (2017-2018)
- [3] McKinsey & Company: Key trends in automotive industry (2021)
- [4] Christian Krysz és Klaus Fuest - *Roland Berger*: Trend Compendium 2030 (2017)
- [5] D.F. Reding és J. Eaton, NATO Science & Technology Organization: Science & Technology Trends 2020-2040 (2020)
- [6] Jürgen Hasch: Driving Towards 2020: Automotive Radar Technology Trends (2015)
- [7] Falk Meissner, Konstantin Shirokinskiy és Michael Alexander – *Roland Berger*: Computer on wheels / Disruption in automotive electronics and semiconductors (2020)
- [8] Omar Veledar, Violeta Damjanovic-Behrendt és Georg Macher: Digital Twins for Dependability Improvement of Autonomous Driving (2019)
- [9] <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/industries/automotive/use-cases/v2x>

Különböző járműhajtások tesztelési tapasztalatai

Testing experience of different vehicle drives

Peszleg Richárd^a, Pekk Leticia^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE

^bZalaegerszegi Technológiai Centrum

Absztrakt: Az alternatív hajtású járművek számának aránya egyre növekszik világszerte. A különféle emissziócsökkentésre hivatott tüzelőanyaggal üzemeltetett belsőégésű motorok és a hidrogéncellás hajtások mellett, kiemelkedő számban az akkumulátorral táplált villanymotoros hajtások vannak jelen. Az alternatív hajtással rendelkező személygépjárművek számában a hibridek járnak az élen, ami jól mutatja az elektromos és belsőégésű erőforrások hatékony együttműködését. A két hajtástípus néhány paramétere tökéletes ellentéte a másiknak, ezzel kiegészítik egymás gyenge pontjait. A következő kutatásban bemutatásra kerülnek a belsőégésű- és villanymotoros hajtású személygépjárművek mérési módszereinek különbségei, egy villamos motorral szerelt e-Golf tesztjeinek segítségével. A mérések mellett felsorolásra kerülnek azok a paraméterek, melyekben különböznek az erőforrások és okot adnak az adott járművel végzett kutatások eltérő céljaira.

Kulcsszavak: belsőégésű motor, elektromos motor, fogyasztás, mérés

Abstract: The proportion of alternative propulsion vehicles is growing worldwide. In addition to internal combustion engines running on various emission-reducing fuels and hydrogen cell drives, a significant number of battery-powered electric drives are present. In the number of alternative-powered passenger cars, hybrids are at the forefront, which is a good indication of the efficient combination of electric and internal combustion resources. The two drive types are perfect opposites of some parameters, that complement each other's weak points. The following research will present the differences in measurement methods for internal combustion and electric motor vehicles, using an e-Golf tests, that equipped with electric motor. In addition to the measurements, the parameters in which the resources differ and give reasons for the different purposes of research are listed.

Keywords: internal combustion engine, electric motor, consumption, measurement

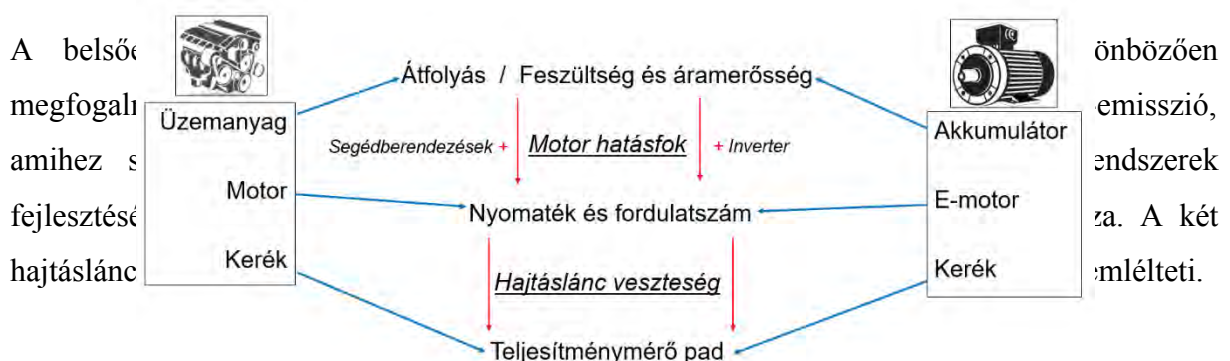
Bevezetés

A járműfejlesztések egyik legfontosabb területe az energiahatékonyság növelése. A biztonságtechnikai fejlesztések mellett kiemelkedő szerepe van az üzemanyag-fogyasztás csökkentésének. A kipufogógáz emisszióra vonatkozó szigorú előírások betartásához ésszerű opció a járművek hajtásláncának villamosítása, ezt elsősorban a belsőégésű erőforrás mellé integrálják, ahogy azt a hibridek mutatják, másrészt működőképes megoldást jelent a tisztán elektromos hajtáslánc is. A kizárólag villamos motorral hajtott járművekhez kötött legnagyobb aggály a hajtáshoz szükséges energia kimerülése.

A belsőégésű motorral szerelt járműveknél begyakorlott módon tudjuk orvosolni, addig az elektromos járművek feltöltési szokásainak kialakításához teljesen más mentalitás szükséges. Fő célnak tekinthető az elektromos járművek fejlesztésében az egy töltéssel megtehető táv növelése és a töltés idejének redukálása. A jármű akkumulátorában eltárolt energiától és a belőle kivehető energiamennyiség felhasználási határfokától függ az adott töltéssel megtehető távolság.

A hagyományos belsőégésű motorok üzemanyagára is vannak alternatívák, viszont az elektromos hajtáshoz képest, itt nagyobb hangsúly helyeződik az erőforrás hatásfokának javítására. Jelen kutatásban elsősorban e két hajtástípus rendszere kerül összehasonlításra és egy VW e-Golf személygépjármű tesztlején keresztül lesz megvizsgálva, hogy személy szerint mit tehetünk egy adott jármű energiahatékonyságának maximumon tartása érdekében.

Hajtásrendszerek összehasonlítása



1. ábra: Belsőégésű és villanymotoros hajtás egyszerűsített összehasonlítása

A belsőégésű motorokat túlnyomó többségben gázolaj vagy benzin üzemanyaggal üzemeltetik. Az egységnyi térfogatban tárolt energia fejlesztése nem lehetséges úgy, mint az akkumulátoros elektromos járműveknél. Vannak alternatívák a szokványos tüzelőanyagokra; a CNG és LPG elsősorban az adott gázok árai miatt kerültek használatra, a hidrogén égése pedig a kipufogógáz- emissziót tudja minimalizálni. Takarékoság és károsanyag-kibocsátás szempontjából, inkább a hibridizáció felé tendál az ipar, emiatt a következőkben a belsőégésű motorok tüzelőanyagát tekintve, csak a benzin és a gázolaj lesz figyelembe véve.

Az adott hajtáshoz szükséges befektetett energia mérése belsőégésű motoroknál átfolyásmérőkkel történhet vagy a befecskendezés monitorozásával. Személygépjárművek esetében előbbit csak tesztelési esetben alkalmazzák, utóbbi pedig a fedélzeti számítógépnek és a sofőrnek folyamatosan szolgáltatni tudja az információt. Elektromos hajtás esetében a vezetékeken futó áram erősségét és feszültségét mérve meghatározható a fogyasztás. Itt már konkrétan teljesítményértéket kapunk, míg a hagyományos hajtásoknál szükséges a tüzelőanyag tömegéből kiszámolni a benne lévő energiát.

Következő mintavételezési pont az egyszerűsített ábra alapján, a motor főtengelyén létrejövő nyomaték. Ahhoz, hogy a benzin vagy gázolaj eljusson az erőforrásig üzemanyagpumpa és befecskendező rendszer szükséges, amik a használathoz szükséges teljesítményt az égésből létrejövő forgási energiából nyerik. A komfort és biztonsági berendezések mindkét típusú hajtásnál jelen vannak, ezek üzemeltetése főként az akkumulátorról történik. Belsőégésű motoros esetben az akkumulátor ugyanúgy a főtengelyről nyeri a szükséges energiát. Elektromos járművek esetében megoldható, hogy a villanymotor tengelye, már csak a kerekekhez továbbítsa a nyomatékot, minden más berendezés áramszükséglete már előtte el legyen vezetve.

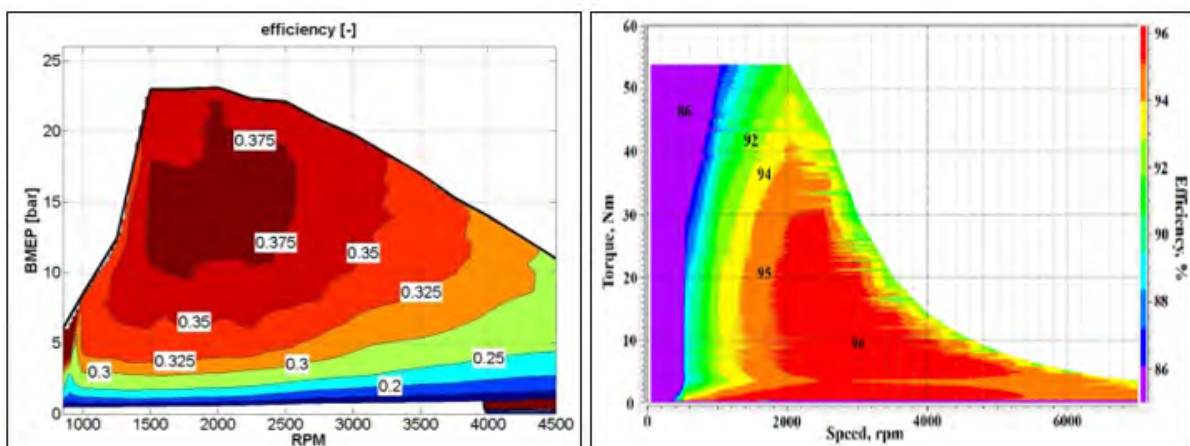
Az akkumulátor és a villanymotor közé feszültségátalakító inverter szükséges, ami ugyancsak veszteségekkel működik. A motorok és a kerekek közötti hajtáslánc-elemek súrlódási és olajkavarási veszteségei nagyon hasonlóak a két hajtástípusnál. Elektromotoros esetekben gyakori a fix áttételű hajtómű, ami hatékonyabb és egyszerűbb a többsebességű váltóművekhez képest.

A rendszerek veszteségeit mindkét típusnál igyekeznek a fejlesztők minimalizálni, fő különbség, hogy a belsőégésű hajtás esetében adottnak tekinthető a befektetett energiamennyiség. A kipufogógáznak szigorú előírásoknak kell megfelelnie, amibe a szén-dioxid is beletartozik, ez pedig egyenesen arányos az elégetett üzemanyag mennyiségével. Elektromos hajtás esetében pedig már említésre került, hogy az akkumulátorokban tárolt energiamennyiség növelése kritikus fejlesztési irány. Erőforrások szempontjából hátrányos helyzetben van a belsőégésű motor, mivel hatásfoka lényegesen elmarad egy villanymotorral szemben, ennek oka, hogy előbbi esetben a tüzelőanyag elégetésével, hőenergiából kell forgási energiát létrehozni, míg utóbbi megoldásnál pedig elektromos teljesítményt szükséges főtengelyen létrejövő nyomatékká alakítani.

Motorok hatásfoka

Belsőégésű- és villanymotoroknak is van optimális munkapontja. Energia hatékonysági szempontból, lényeges különbségük a legjobb hatásfokuk, és a fordulatszám-terhelés függvényében felírható hatásfok diagramjuk. Míg a személygépjárművekben használt dízel üzemű motor legjobb hatásfoka 40-45% körül mozog, addig egy hasonló alkalmazásra szánt villanymotoré 95% felett van. A hatásfok diagram megadja, hogy adott üzemállapotban milyen hatékonysággal tud üzemelni az erőforrás.

Ha nem optimális munkapontban üzemel egy belsőégésű motor, hatásfoka könnyen a felére csökkenhet, viszont egy villanymotor esetében ez 10-15 %-os hatásfokvesztést jelent. A 2. ábra jól szemlélteti ezeket a különbségeket, egy turbódízel és egy mágnessel segített szinkron motor esetében.



2. ábra: Turbódízel (balra) és mágnessel segített szinkronmotor (jobbra) hatásfok diagramja [1] [2]

Mindezek mellett a 2. ábrán látható a két erőforráshoz tartozó maximum nyomaték görbe is. Az adatokból érthető, hogy miért nincs szükség változtatható áttételre a legtöbb elektromos személygépjárműben. A villanymotor már álló helyzetben képes leadni a maximum forgatónyomatékot és magas fordulatszámú üzemállapotban sem csökken annyira a hatásfoka, hogy az indokoltá tegye a többfokozatú tengelykapcsolót a motor és a kerekek között. A belsőégésű motoroknál kritikusabb az optimális üzemállapoton való járás, mivel ettől a munkaponttól távolodva drasztikusan csökken a hatékonysága.

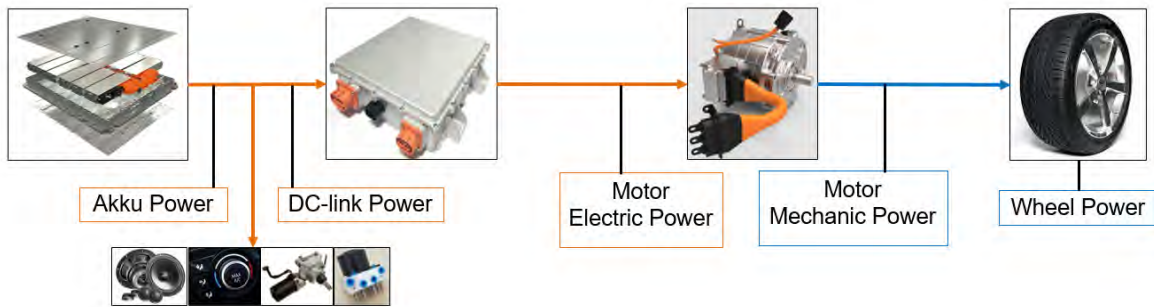
A 2. ábra magyarázatot ad a belsőégésű- és villanymotoros járművek optimális utazó sebességére. Tapasztalatok alapján egy hagyományos személygépjármű országúti sebességen fogyaszt legkevesebbet liter/100km-re levetítve, ezzel szemben, egy elektromos személygépjárműnél, már városi tempó felett megfigyelhető a fogyasztásnövekedés. A tapasztalatok magyarázatához a menetellenállási együtthatókat kell figyelembe venni, amik összessége a sebesség növekedésével közel négyzetesen növekszik. Egy ideig a terhelés növekedésével a motor nagyobb mértékben közeledik a maximum hatásfokhoz, mint amennyivel a menetellenállás leküzdéséhez szükséges erő növekszik. A belsőégésű motorok magas nyomatékon sokkal hatékonyabbak, mint alacsony terhelésen, ezért a sebesség növelésével és a gyorsítás intenzitásával az adott munkapont közelébe tudnak kerülni.

A villanymotoros hajtásoknál sem az alacsony terhelés és fordulatszám tartományban van jó hatásfokú állapotban az erőforrás, ezért megfigyelhető ugyanez a jelenség, mivel itt kisebb különbségek vannak a maximum hatásfokú és a nem optimális munkapontok között, ezért a belsőégésű motorokhoz képest, enyhébb gyorsításoknál, és alacsonyabb utazósebességnél lehet ideális terhelésen tartani a motort. A későbbiekben kiértékelt vizsgálatok, a tesztjárműnek ezeket a tulajdonságait fogják bemutatni.

Elektromos jármű mérése

Egy jármű hatásfokának vizsgálatához legalább két ponton kell mérni és ezek különbsége fogja adni a veszteségenergiát. Az általunk használt VW e-Golf vizsgálható pontjait a 3. ábra szemlélteti. A jármű kommunikációs hálózatából kiolvasható a nagyfeszültségű akkumulátor leadott és felvett teljesítménye, az inverterbe érkező, és a villanymotor bemeneti áramának feszültsége és áramerőssége, ez utóbbiból a vezérlő a hagyományos motorokhoz hasonlóan az

erőforrás paramétereit alapján számolja a kihajtó tengelyen megjelenő nyomatékot, a kerekeken leadott teljesítményre pedig a gyorsulásból és menetellenállásokból lehet következtetni. A kerékteljesítmény leggyakrabban görgős mérőpadokon van vizsgálva. Egyre elterjedtebb a keréktengelyekre csatlakoztatható fékgépekkel való vizsgálat is, ami közvetlen kapcsolatot létesít a hajtáslánccal és a gumi tulajdonságainak hatását ki tudja hagyni a mérésből. Belsőégésű motoros járműveknél, az üzemanyag-fogyasztás és a mechanikusan hajtott segédberendezések vizsgálata miatt vannak mérési különbségek.



3. ábra: Teljesítmény mérési lehetőségek VW e-Golf járművön

Fogyasztás mérés

A tesztjármű egy 2020-as gyártású VW e-Golf volt. A jármű tisztán elektromos hajtású, 100 kW-os villanymotorral szerelt. A 3. ábrán „DC-link Power” -nek nevezett teljesítményadatot a konszern diagnosztikai eszközével, a VCDS-el tudtuk kiolvasni. A kiolvasott érték az inverterbe érkező áramból számolt teljesítményt jelzi. Másik mérendő paraméter a jármű sebessége volt. A mérésben részt vevő energiaáramlásra így hatással volt az inverter és a motor hatásfoka, a hajtáslánc veszteségei és a menetellenállások is. Annak okán választottuk ezt a mérési pontot, hogy a felhasználó szempontjából lehessen meghatározni optimális üzemállapotokat. Az akkumulátor más terheléseit, mint a világítás, multimédia, légkondicionálás energiafelvétele pedig ki lett hagyva a mérésből, hogy ezek ne tudják befolyásolni a tesztek. A méréseket a ZalaZONE Járműipari Tesztpályán tudtuk kivitelezni.

Konstans sebesség

Az előzőekben említett optimális utazósebesség került vizsgálatra legelőször. A járművet a sebességtartó asszisztens rendszer segítségével sikerült konstans sebességen üzemeltetni. A pályaelem, ahol mértünk rendelkezik minimális lejtéssel, de az összehasonlíthatóságot nem

befolyásolja, viszont minél valósabb teljesítmény adatokat szerettünk volna kapni az adott sebességeken való utazáshoz, ezért az útszakaszon mindkét irányba elvégeztük a méréseket, így az eredmények a két irány átlagából lettek kiszámolva. A sebességek 20 km/h-ánként lettek vizsgálva, illetve a városi és országúti sebességek, 50 km/h és 90 km/h. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

<i>Sebesség (km/h)</i>	<i>Pillanatnyi teljesítmény (kW)</i>	<i>Fogyasztás (kWh/100km)</i>
40	3,212	8,029
50	3,419	6,837
60	5,904	9,840
80	10,180	12,725
90	13,012	14,458
100	16,193	16,193

1. táblázat: Sebesség tartáshoz szükséges energia és fogyasztás

Az eredményeken jól látszik a sebesség növekedésével párhuzamosan növekvő pillanatnyi teljesítmény. Viszont 40 km/h és 50 km/h között nagyobb a sebességnövekedés, mint a menetellenállások leküzdésére szolgáló teljesítmény növekedése, ezért kWh/100km-es mértékegységben kifejezve, ekkor javul a fogyasztás, viszont e sebesség felett már nagyobb hatása van a légellenállásnak, így a sebesség növelésével növekszik a fogyasztás is.

Gyorsítás

Személygépjárművek használatakor az első energiaigényes mozzanat a gyorsítás. A motor teljesítményét a gázpedálállás határozza meg elsősorban. Vizsgálatainkat ezért gázpedálállás függvényében végeztük. A gázpedál pozícióját a CAN hálózaton futó adatokból tudtuk kiolvasni. A nyers adatokat a VCDS diagnosztikai eszköz kiírt értékei alapján dekódoltuk. A pedál pozícióját így százalékos értékben kaptuk meg. Érdekes volt számunkra, hogy már jóval a pedál végpontja előtt 100 %-os értéket kaptunk, de vizsgálataink során bizonyossá vált, hogy a 100 % elérésekor ténylegesen leadja a maximum teljesítményt a motor nemcsak a pedál végpontjáig való lenyomásakor. A vizsgálatokat 20 %-os gázpedál állásonként mértük, álló helyzetből 80 km/h-ra gyorsítással. Az eredmények a 2. táblázatban láthatóak.

<i>Gázpedál állás (%)</i>	<i>Megtett út (km)</i>	<i>Eltelt idő (s)</i>	<i>Felhasznált áram (kWh)</i>
20	0,419	32,1	0,189
40	0,177	14,4	0,15
60	0,102	8,3	0,135
80	0,08	6,4	0,138
100	0,078	6	0,139

2. táblázat: Fogyasztás 80km/h-ra gyorsításnál különböző gázpedál állásokon

A mérések alapján elmondható, hogy 60 %-os gázpedálállás közelében gyorsul legjobb hatékonysággal ez a jármű, azonban az intenzívebb gyorsulás rövidebb megtett távot eredményez, emiatt egy hétköznapi példát véve, olyan tesztesetet vizsgáltunk, amiben adott sebességre való gyorsítás után, a sebesség tartásával kellett a kijelölt távot megtenni. A gyorsítások mértéke az előzőekben is vizsgált gázpedálállásokkal történt 80 km/h-ra, majd ezzel a sebességgel tovább haladva, összesen 0,5 km-t tett meg a jármű. A mérés eredményit a 3. táblázat mutatja.

<i>Gázpedál állás gyorsításkor (%)</i>	<i>Megtett út gyorsítással (km)</i>	<i>Megtett út konstans sebességen (80km/h) (km)</i>	<i>Fogyasztás (kWh/0,5km)</i>
20	0,419	0,081	0,198
40	0,177	0,323	0,184
60	0,102	0,398	0,179
80	0,080	0,420	0,184
100	0,077	0,423	0,185

3. táblázat: 0,5 km megtétele különböző gázpedál állásokon való gyorsítással és sebességen tartással

A mérési eredményeket elsősorban a gyorsításhoz szükséges energiaigény határozta meg, ezért az előbbi teszt során leghatékonyabbnak ítélt 60 %-os gázpedálállással való gyorsítás bizonyosodott ez esetben is a legenergiatakarékosabbnak.

Regeneratív fékezés

Elektromos jármű lévén, regeneratív fékező üzemmód is rendelkezésre áll. A lassítás intenzitása a váltókarral beállítható D1, D2, D3 és B módokba, amik ebben a sorrendben, egyre intenzívebb visszatöltést eredményeznek a gázpedál felengedésének hatására. A regeneratív fékezés méréseink alapján 40 kW-al tud üzemelni, mivel a jármű akkumulátora is maximum ekkora töltést tud felvenni. A következő méréssel a motor és inverter együttes hatékonyságát tudtuk vizsgálni, különböző visszatöltő teljesítményeken. A teszt során 90 km/h-ról állt meg a jármű. Az eredmények alapján a visszatöltés a legintenzívebb fokozatban történik legjobb hatásfokkal.

<i>Váltó fokozat</i>	<i>Megtett út (km)</i>	<i>Eltelt idő (s)</i>	<i>Visszatöltött áram (kWh)</i>
D1	0,509	49,5	-0,074
D2	0,359	36,1	-0,091
D3	0,277	29,6	-0,105
B	0,234	26,3	-0,110

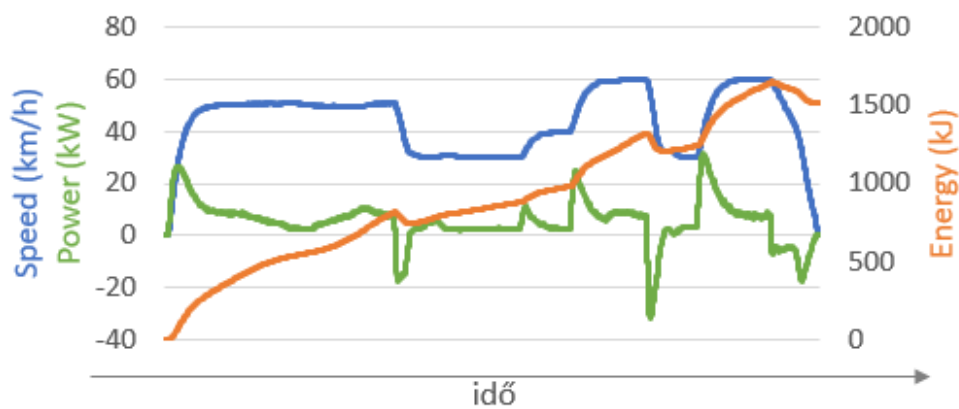
4. táblázat: Regeneratív fékezés hatékonysága

Gumiabroncs-nyomás hatása a fogyasztásra

A modern személygépjárművek fel vannak szerelve keréknyomás visszajelző rendszerrel, ami történhet a tényleges nyomás vagy a kerékfordulatszám mérés alapján. Utóbbi rendszer nem ad egzakt értéket, csak a változást tudja jelezni. A következő mérésünk viszont minden járműre kiterjed, nemcsak a jelenlegi tesztjárműre. A teszt pályán adott útvonalat jártunk be azonos gyorsításokkal, lassításokkal és kanyarodásokkal. A gyorsítások és a sebességen tartások a sebességtartó asszisztens bekapcsolásával, a lassítások pedig a kiválasztott fokozatban történő regeneratív fékezéssel történtek, így azonos köröket tudtunk megtenni. A vizsgálat lényegét a gumiabroncs nyomásának változtatása adta. Három abroncsnyomáson végeztük a mérést; az előírt nyomással, ennél alacsonyabb, majd ennél magasabb nyomásértéken. Az eredményeket az 5. táblázat foglalja össze, az útvonalhoz tartozó járműparaméterek a 4. ábrán láthatóak.

<i>Guminyomás (bar)</i>	<i>Felhasznált áram (kWh)</i>
1,7	0,42
2,7	0,37
3,2	0,37

5. táblázat: Felhasznált áram különböző guminyomásokon



4. ábra Jármű paraméterei a teszt útvonal alatt

A vizsgálat alacsonyabb guminyomáson a várható eredményt adta, nőtt a fogyasztás, viszont az előírtnál magasabb nyomáson nem történt mérhető fogyasztáscsökkenés, így bizonyítottan, nem érdemes jobban felfújni az abroncsot, mivel az a menetbiztonságra viszont negatív hatással van.

Mérések konklúziója

A tesztpályán végzett mérésekkel a jármű felhasználója által megvalósítható takarékos vezetési paramétereket igyekeztünk vizsgálni. Eredményeink tükrözték az előzetes kutatások alapján feltérképezett villanymotoros hajtásokhoz tartozó tulajdonságokat. Összességében elmondható, hogy nem a leglassabb vezetés a legtakarékosabb, mivel az erőforrások optimális munkapontjai nem az alacsony fordulatszám és nyomaték tartományában vannak. Várható volt, hogy az agresszív gyorsítások és magas haladási sebességek nem tesznek jót a fogyasztásnak, meg kell találni a metszetet a menetellenállások és a motorok optimális munkapontja között. Az eredmények egy belsőégésű motorral szerelt járműnél szembetűnőbbek, a motor optimális munkapontjának elhelyezkedése miatt.

Összefoglalás

A belsőégésű- és villamos hajtással rendelkező járművek fejlesztési célja azonos; minél kevesebb és minél jobb energiafelhasználással tudjanak üzemelni. A belsőégésű motorok szempontjából szinte csak az erőforrás hatékonyságának fejlesztésében vannak lehetőségek, mivel az üzemanyag-felhasználás szigorú előírásokkal van korlátozva. Hatótávolságát növelni könnyen, a tanktérfogat növelésével lehet és újratöltési ideje is rövid a villamos hajtásúakhoz képest. Az elektromos járművek fejlesztése elsősorban az energiátároló akkumulátorokra fókuszálódik, mivel a villanymotorok hatásfoka, egy belsőégésűhöz képest több mint kétszerese is lehet. Az egy töltéssel megtehető távolság viszont kritikus, mivel az akkumulátorok töltése lényegesen több ideig tart, ezért fejlesztési irány az egységnyi térfogaton és tömegben tárolható energiamennyiség növelése és az újratöltési idő csökkentése. A két típusú erőforrás hatékonyan, egymás hátrányait ki tudja egészíteni, ahogy azt a hibrid járművek mutatják. A villamos hajtásláncok energiaellátása miatt még nem lehetséges leváltani az összes hagyományos hajtású járművet, viszont a belsőégésű motorok lokális emisszió korlátozása lassan ellehetetleníti azok használatát, így az erőforrások tulajdonságainak ismerete mellett e szempontból is belátható, hogy miért növekszik a hibrid hajtású járművek száma. A különböző hajtásláncú járművek trendként terjedtek el, ahol a belsőégésű és a villamos között a hibrid hajtású technológia áll. A legnagyobb problémát az akkumulátor adja, amely nem csak a megtehető távolságban, hanem környezetvédelmi kérdésekben is kardinális. Ideális környezetben a jármű motor és teljesítményi adatok méréséhez hozzájárul majd a ZalaZONE SZE JKK teljesítménymérő padja, emellett valós tesztpálya környezet mérési eredményei is összevethetők lesznek.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

[1] <https://www.intechopen.com/chapters/19452>

[2] https://omnibusz.blog.hu/2020/11/08/dizel_helyett_villany_az_elektromos_motorokrol_iii_resz_199

Műholdalapú nagypontosságú navigáció nagyvárosi környezetben V2X módszer segítségével

Satellite-based high-precision navigation in a metropolitan environment using the V2X method

Somogyi Huba^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: A modern társadalom egyik alappillére a mobilitás. Az áru- és személyszállítás elengedhetetlen a virágzó gazdasághoz. A mérnökök és kutatók olyan folyamatokat és technológiákat keresnek, amelyek a kifinomult forgalomirányítás révén fokozzák a forgalmat. A kialakított rendszerrel, közismertebb nevén intelligens közlekedési rendszerrel (ITS) az elvárás a forgalmi torlódások elkerülése és a forgalom általános hatékonyságának növelése. Az autópár technológiai fejlődése az automatizált vezetés és a fejlett vezetősegítő rendszerek (ADAS) kifejlesztése felé hajtja a teljesen digitális közlekedési rendszert. Jelen cikkben, a nagyvárosi környezetben nehezen megvalósítható műholdalapú navigáció V2X módszer mintájára létrehozott, kis-hatótávolságú (>1km) rádiókommunikációs eszközzel szerelt RTK-bázisállomás hatásosságát és létjogosultságát vizsgálom meg. A cikkben bemutatom az önvezető járművek világában alacsony költségűnek számító navigációs eszközök segítségével az RTK-bázisállomás használatát és annak előnyeit, majd ezekre alapozva vonom le a megfelelő következtetéseket.

Kulcsszavak: nagypontosságú navigáció, RTK bázisállomás, V2X

Abstract: Mobility is one of the cornerstones of modern society. The transport of goods and passengers is essential to a thriving economy. Engineers and researchers are looking for processes and technologies that drive traffic through sophisticated traffic management. With the developed system, better known as the Intelligent Transport System (ITS), the expectation is to avoid traffic congestion and increase the overall efficiency of traffic. Technological advances in the automotive industry are driving the all-digital transportation system toward the development of automated driving and advanced driver assistance systems (ADAS).

In this paper, I examine the efficiency and viability of an RTK base station equipped with a short-range ($> 1\text{km}$) radio communication device modelled on the V2X method of satellite-based navigation, which is difficult to implement in a metropolitan environment. In this article, I will present the use of the RTK base station with the help of low-cost navigation devices in the world of self-driving vehicles, and then draw the appropriate conclusions based on them.

Keywords: high-precision navigation, RTK base station, V2X

Bevezetés

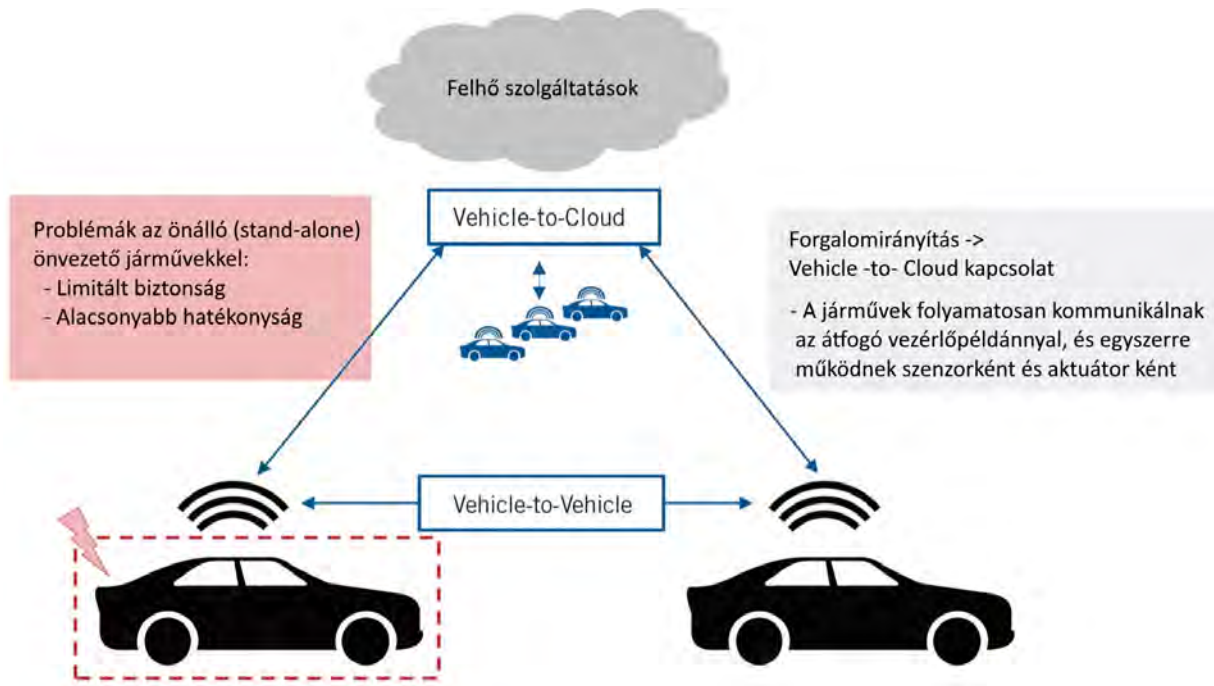
Napjainkban a vezeték nélküli kommunikáció fejlődése lehetővé teszi a valós idejű információ megosztást a jármű-gyalogos (V2P), jármű-jármű (V2V), jármű-infrastruktúra (V2I) és a jármű-hálózat (V2N) reláción. A kommunikációs csatornák gyűjtőneve V2X, melyek kommunikációs használati esetek főleg biztonsági, nem biztonsági és infotainment szolgáltatásokra oszthatók.

A globális navigáció alapvetően annyit jelent, hogy a világ bármely pontjáról, annyi megkötéssel, hogy ahonnan szabad rálátásunk van az égboltra, valamilyen pontossággal meghatározzuk az adott koordinátákat. Az utóbbi évtizedekben ez a technológia is akkora fejlődésen ment keresztül, hogy egyes feltételek teljesülése mellett már néhány centiméteresre is csökkenthető ez a pontosság, ami már használható akár járműirányítás céljára is.

A biztonsági szolgáltatások célja a balesetek és az utasokat, valamint a közlekedőket érintő kockázatok minimalizálása. A nem biztonsági szolgáltatásokat az Intelligens Közlekedési Rendszerek (ITS) használják a forgalomirányítás javítására, hogy maximalizálják a meglévő úthálózat hatékonyságát és minimalizálják a forgalom káros hatásait, például a torlódásokat és annak a gazdasági termelékenységre és a környezet minőségére gyakorolt későbbi hatásait. A cikkben nem cél belemélyedni a centiméter-pontosság elérésének mikéntjébe, csak röviden az űrből a műholdakról érkező jelekre útközben viszonylag sok zavaró tényező hat, melynek következtében pontatlanság lép fel a navigációban és ennek kiküszöbölésére ezeket a zavaró tényezőket, szűrni, illetve becsülni kell. Az egyik jelenleg legjobb megoldás a Földön létesített bázisállomások, melyeknek ismert a pontos koordinátája és az űrből kapott jelekre egy jól meghatározható hibakarakterisztikát tudnak számolni, ezt pedig a felhasználó felé továbbítva nagy pontosságú navigáció érhető el, ezt nevezik RTK-nak.

A nagyobb navigációs eszközöket gyártó cégeknél már ennek egy továbbfejlesztett változata is elérhető, ahol a földi állomások a műholdaknak továbbítják a pontosítási paramétereket és a felhasználó a műholdról megkapja mindkét adatot, ezzel megspórolva az RTK-hoz szükséges kommunikációs csatornát. Az autonóm járműveknél két különböző fejlődési irányt határozhatunk meg, az egyik, amikor a jármű önállóan csak a saját szenzorrendszerére hagyatkozva dönt egy adott szituációban cselekedeteinek mikéntjéről, ennek viszont megvannak a maga hátrányai a másik megközelítéssel szemben, amikor a járművek a járműkommunikációs platform segítségével plusz információt kaphatnak és nem csak a közvetlen környezetükről, hanem azon túl is.

Információt szolgáltathatnak a közlekedés többi részvevője számára is, mivel ebben a konstellációban az önvezető jármű működhet szenzorként a többi részvevő számára és természetesen aktuátorként is saját irányítása céljából.[1][2][5]



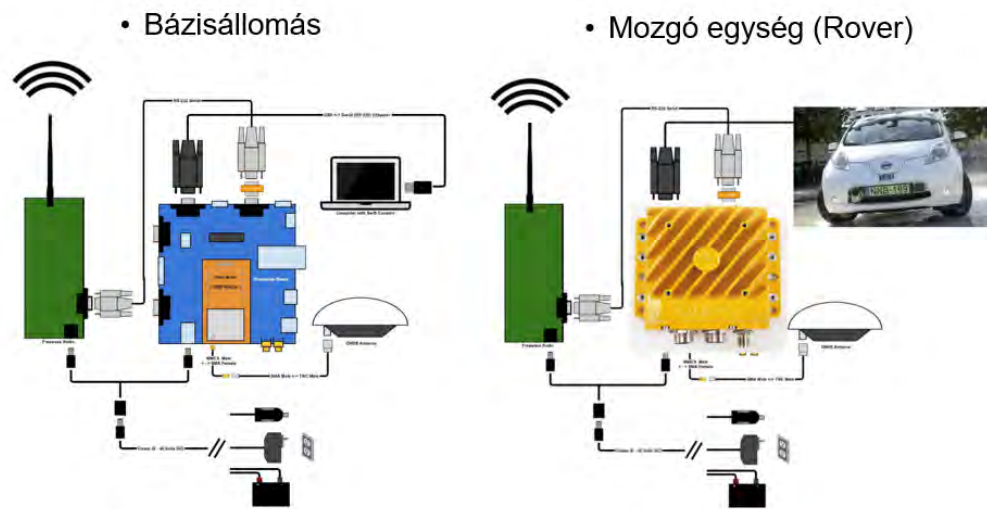
1. ábra: Autonóm járműves fejlődési irányok [3]

Mérési összeállítás

A GNSS RTK vevőknek RTK korrekciókat kell fogadniuk a bázisállomástól ahhoz, hogy nagy pontosságú RTK módban működjenek. Az ilyen adatok továbbításának egyik módja a rádió. A rádiókapcsolat megbízhatósága és hatótávolsága közvetlenül befolyásolja az RTK működését és a rendszer általános teljesítményét. A tesztekhez a Swift Navigation és a Freewave eszközei álltak rendelkezésre.

Az RTK megoldás eléréséhez a rover vevőnek korrekciós adatokat kell kapnia a bázisállomás vevőjétől. A PiksiMulti Evaluation Kit két rádiót tartalmaz a link biztosításához. A rádiókat megfelelően konfigurálni kell [4]. A konfigurációhoz a rádiókat az RS-232 portjaikon keresztül, egyenes RS-232 kábellel kell a számítógéphez csatlakoztatni. A szabadhullámú rádiók 6-30 V DC tápegységet igényelnek. Használhatjuk a rádiókhoz mellékelt fali hálózati adaptort vagy 12 V-os akkumulátort a rádió táplálásához a konfiguráció során.

A mérési összeállítást a 2. ábra mutatja be, a bázisállomást egy PiksiMulti eszközből állítottam össze, míg a rover egység, amely egy gépjárműben került elhelyezésre egy Duro Inertial navigációs eszközből lett kialakítva.



2. ábra: RTK bázisállomás tesztösszeállítás

A felkonfigurált és összeállított bázisállomással és rover egységgel, az egyetemi kampuszon teszteltem, illetve végeztem el a tervezett méréseket.



3. ábra: Mérési összeállítás a teszthelyszínen

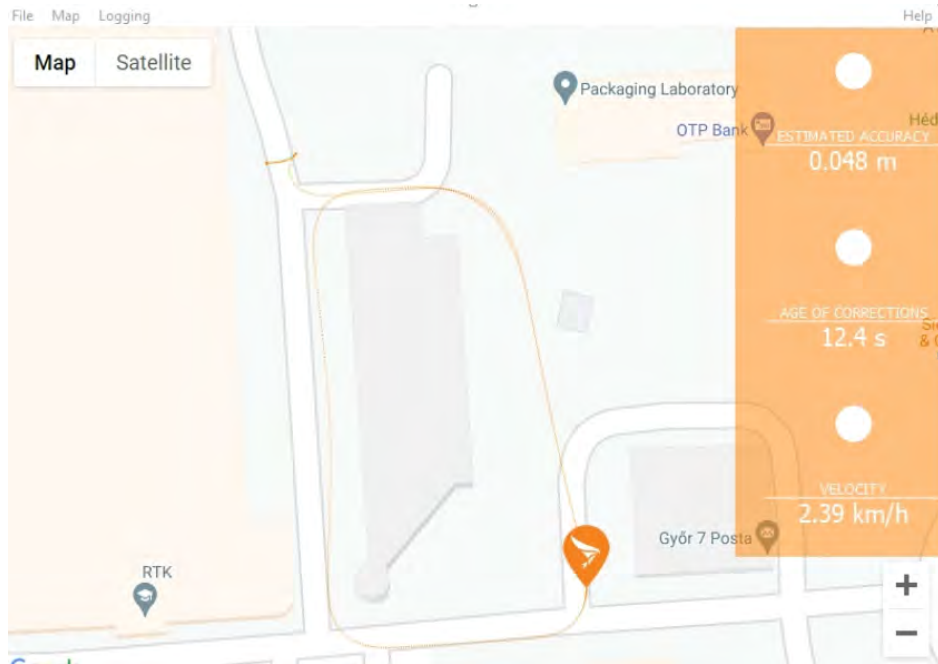
Tesztek elvégzése és kiértékelése

A tesztek elvégzésének helyszíne a Széchenyi István Egyetem egyetemi kampusza volt, mivel itt megtalálhatók magas épületek és fák, melyek alkalmasak nagyvárosi környezet imitálására. A tesztek elvégzése során fontos volt, hogy a bázisállomást olyan helyre telepítsem, ahol jó rálátása van a tiszta égboltra, így elérve azt, hogy a bázisállomás megfelelő állapotban legyen navigációs szempontból. A V2X jellegét a mérésnek az adja, hogy egy az infrastruktúrában telepített eszköz, ami jelen esetben a saját bázisállomás, kommunikál a közlekedő járművel.

Az alapvető elképzelés, hogy nagyvárosi környezetben olyan pontokon, ahol még a nagy pontosságú navigációs eszközök is igen pontatlanná válnak a GNSS rendszer adottságaiból kifolyólag, az infrastruktúrában elhelyezett kisegítő eszközök segítségével orvosolják a problémát, amiben természetesen a V2X kommunikációs eszközök nagy segítséget nyújthatnak. A méréseim során csak imitálni tudtam, mind a környezetet, mind a V2X eszközöket, mivel jelenleg ezek álltak rendelkezésemre, de véleményem szerint a tesztek könnyen átültethetők a megfelelő eszközökre is.

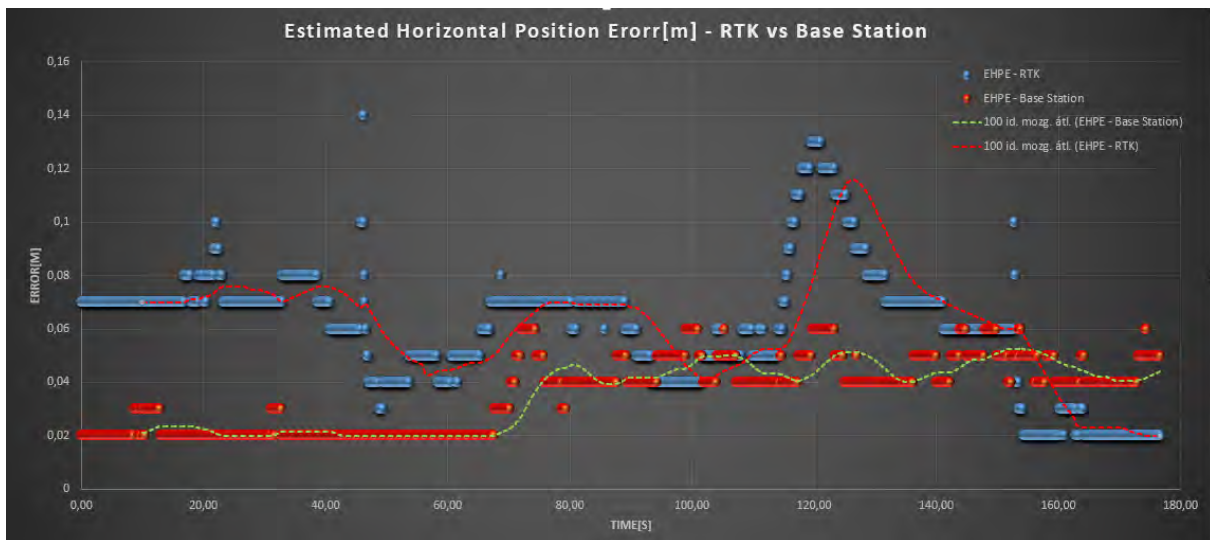
Az első tesztek álló helyzetben történtek, először úgy, hogy a bázisállomás RTK float állapotban volt és ez alapján továbbított adatokat. Az eddigi tapasztalatok alapján az RTK float állapotú korrekció (saját bázisállomás nélkül) 20 - 50 cm közötti szórással biztosított álló helyzeti koordinátpontokat. Saját bázisállomás közbeiktatásával, amikor nagyon közel álltunk (2 - 3 m) a bázisállomáshoz ez lecsökkent 5 - 10 cm-re, míg távolabb (70 - 80 m) állva sem ment ez az érték 20 - 30 cm fölé, amikor, viszont a bázisállomás beállt RTK fix állapotba, akkor már néhány centiméteres pontosság stabilan elérhető volt, illetve minimális romlás volt tapasztalható (20 – 30 cm) olyan helyen (magas épületek között), ahol bázisállomás nélkül akár méteres szórással is érkeztek adatok. Az első álló helyzeti mérések is már biztató eredményt hoztak ezért, ezt követően menet közben is rögzítettem adatokat.

A menet közbeni mérések az egyetem épületei mellett – között történtek (4. ábra).



4. ábra: Mérési útvonal

Az adott köröket megtettem saját bázisállomás használatával és az összehasonlítás miatt saját bázisállomás használata nélkül is. Az összehasonlítás alapja a GNSS eszköz által becsült pontossági adatok voltak, melyek a mérések során rögzítésre kerültek. A mentett adatok alapján egy grafikon segítségével összehasonlítottam az eredményeket.



5. ábra: Mérési eredmények összegzése egy grafikonon

A mérési eredmények jobb megértése céljából egy azonos időtartományú mérést egy közös grafikonon is ábrázoltam, amelyen jól látható amellet, hogy átlagosan kisebb horizontális hibával dolgozik a rendszer stabilabb is, azaz nincsenek benne akkora kiugrások.

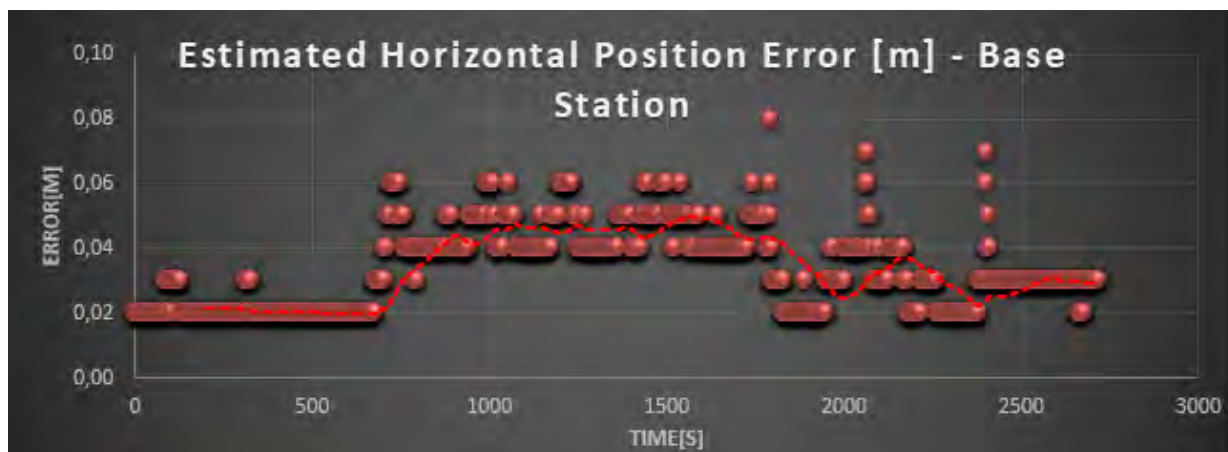
A könnyebb elemzés céljából viszont két különválasztott grafikon segítségével írom le a kapott eredményeket.

Az első grafikonon kék pontokkal a becsült horizontális pozíció hiba, míg a piros szaggatott vonallal, ugyanerre az adatsorra vetített 200 mintás mozgóátlag (ami 20 másodpercnek felel meg). Az adatsort vizsgálva látható, hogy a becsült hiba 3 és 14 cm közötti értékeket vesz fel, viszont ez átlagosan 5 és 10 cm es szórást jelent.

A második grafikonon pedig a saját bázisállomással mért eredmények láthatóak a becsült horizontális pozíció hibára, itt látható, hogy a pozíció hiba 2 és 8 cm értékeket vesz fel, ami átlagosan 2 és 5 cm nagyságrendű. Természetesen, hogy egyértelműen kijelenthető legyen a módszer hatékonysága egyes szituációkban még több mérést igényel, de véleményem szerint kiindulási alapnak egész biztatóak az eddigi eredmények.



6. ábra: Becsült horizontális pontossági adatok RTK módban saját bázisállomás nélkül



7. ábra: Becsült horizontális pontossági adatok RTK módban saját bázisállomás mellett

Alapvetően ennél a megoldásnál is RTK navigációról beszélhetünk mivel a saját bázisállomásunk RTK pontosítás útján határozza meg saját pozícióját és azt a pontosítási adatot továbbítja a közlekedő jármű felé viszont az egyik előnye, hogy a GNSS vevő antennákat úgy tudjuk egy fix pontban elhelyezni, hogy folyamatosan a legjobb RTK pontosítást kapja, míg az adó antennákat úgy helyezzük el, hogy egy adott területen a járművünkre a legjobb rálátást biztosíthassuk, ezzel praktikusán stabilabbá tudjuk tenni a vételt a jármű és a pontosítási adatszórás között. A másik előnye, hogy egyetlen RTK eszköz segítségével akár több járművet is elláthatunk pontosítási adattal, mivel az RTK tulajdonképpen egy infrastrukturális szolgáltatás és egyes szolgáltatóknál díjfizetés ellenében vehető igénybe.

Összefoglaló

Az elvégzett mérések alapján elmondható, hogy mérhető javulást tapasztaltam a saját bázisállomásos módszer javára, természetesen további mérések szükségesek különböző feltételek mellett, hogy biztosan kijelenthető legyen a módszer használatának abszolút előnye. A jövőbeni tervekben szerepel az eszközpark bővítése, amivel tesztelhető az egy bázisállomással több jármű kiszolgálása, ahogy azt már az előzőleg is említettem további mérések elvégzése elengedhetetlen, hasonló és ettől merőben eltérő feltételek mellett is.

A további mérésekkel a módszer határainak, illetve hibáinak feltárása után, azokra javítási lehetőségek meghatározását tűztem ki célul.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] Liu, Q.; Liang, P.; Xia, J.; Wang, T.; Song, M.; Xu, X.; Zhang, J.; Fan, Y.; Liu, L. A Highly Accurate Positioning Solution for C-V2X Systems. *Sensors* 2021, 21, 1175. <https://doi.org/10.3390/s21041175>
- [2] Leonid A. Lipatnikov, Stanislav O. Shevchuk: Cost Effective Precise Positioning with GNSS, International Federation of Surveyors, FIG publication No 74 (2019)
- [3] Christian Koehler, Frank-Peter Böhm, Dominik Appel, Hans Beck: How Automotive Companies Can Beat Apple in Autonomous Driving, 25th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (2016)
- [4] Piksi Multi - GNSS RTK Position with Stationary Base
Web:<https://www.swiftnav.com/resourcefiles/Piksi%20Multi/v2.1/Application%20Notes/Piksi%20Multi%20%20GNSS%20RTK%20Position%20with%20Stationary%20Base%20v2.1.pdf> (letöltés: 2021.10.06)
- [5] Busznyák Tibor – Lakatos István: Digitális eszközrendszerek a gépjárművekben, mint az autonomizálódó közlekedés fejlesztésének információforrásai. In: IFFK 2018: XII. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, 2018. 08. 29. – 2018. 08. 31. Budapest, MMA, Paper 13. (2018)
- [6] Novatel. An Introduction to GNSS GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and other Global Navigation Satellite Systems. Novatel Inc. Second Edition (2015)
- [7] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), EN 302637-3: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service, Version: 1.2.2, (2014)

Többcellás akkumulátorrendszer töltöttségi állapotának és élettartamának monitorozására alkalmas eszköz tervezése

Theoretical design of a multi-cell battery SOC and SOH monitoring device

Szakállas Gábor^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: A lítium alapú akkumulátorral működő eszközök felhasználói felületén a töltöttségi szint kijelzésekor egy becsült értéket jelenítenek meg az akkumulátor aktuális töltöttségéről. A korai töltöttségismérők coulomb-számláló technológiát használtak az eszköz által használt töltés mennyiségének becslésére. A módszert ma is használják, bár rendszerint szabadalmaztatott algoritmusokba építik be a pontosabb eredmények érdekében. Az akkumulátor töltöttségi állapot ellenőrzésének másik módja az akkumulátor üresjárási feszültségének mérése. A legtöbb akkumulátortípus esetében az akkumulátor üresjárási feszültsége a töltöttségi állapottól függ. Az eljárás pontosabb, mint az áramerősséget mérő töltöttségismérők, mivel becsült töltöttségi állapoton (SOC) alapul és így nem szenved az idő előrehaladtával a kapacitáseltolódástól. A cikk a két technológia ötvözésén alapuló ModelGauge M5 algoritmust mutatja be

Kulcsszavak: töltöttségi szint, SOC, ModelGauge

Abstract: The user interface for lithium-based devices displays an estimate of the current battery charge when the charge level is displayed. Early charge level meters used coulomb counting technology to estimate the amount of charge used by the device. This technique is still used today, although it is usually incorporated into proprietary algorithms for more accurate results. Another way to check the battery charge status is to measure the battery open circuit voltage. For most battery types, the battery open circuit voltage depends on the state of charge. This type is more accurate, than current level meters because it is based on an estimated state of charge (SOC) and thus does not suffer from capacity drift over time. The paper presents the ModelGauge M5 algorithm based on a combination of the two technologies

Keywords: charge level, SOC, ModelGauge

Bevezetés

Lítium alapú akkumulátor rendszereket manapság sok területen alkalmaznak (HEV, EV, PV, hordozható elektronikus eszközök stb.). Az alkalmazásoknál elengedhetetlen az akkumulátor aktuális töltöttségi szintjének az ismerete, mérése. A lítium alapú akkumulátorral működő eszközök felhasználói felületén a töltöttségi szint kijelzésekor egy becsült értéket jelenítenek meg az akkumulátor aktuális töltöttségéről. A fejlettebb rendszerek emellett egyéb információkat is kijeleznek (hátralévő üzemidő, elhasználódás mértéke, különböző figyelmeztetések). Az SOC és SOH becslésre főként két megoldást alkalmaznak, amelyek minden akkumulátorrendszerre alkalmazhatók: coulomb-számlálás és a nyílthurkú feszültségmérésen alapuló (OCV) módszer. Számunkra egy rugalmas, olcsó, robusztus és viszonylag pontos megoldás kialakítása volt a cél LiFePO₄ akkumulátor cellák alkalmazásának esetére.

SOC és SOH becsülő algoritmusok

A korai üzemanyagszint-mérők coulomb-számláló technológiát használtak az eszköz által használt töltés mennyiségének becslésére. Egy előre ismert kapacitás értéket (memóriában letárolt vagy becsült) felhasználva a coulomb-számlálási módszer a fennmaradó kapacitást egyszerűen az akkumulátorba betöltött vagy az akkumulátorból kivett töltés számolása alapján határozza meg:

$$SOC = SOC(t_0) + \frac{1}{C_{rated}} \int_{t_0}^t (I_b - I_{loss}) dt$$

ahol $SOC(t_0)$ a kezdeti SOC érték,

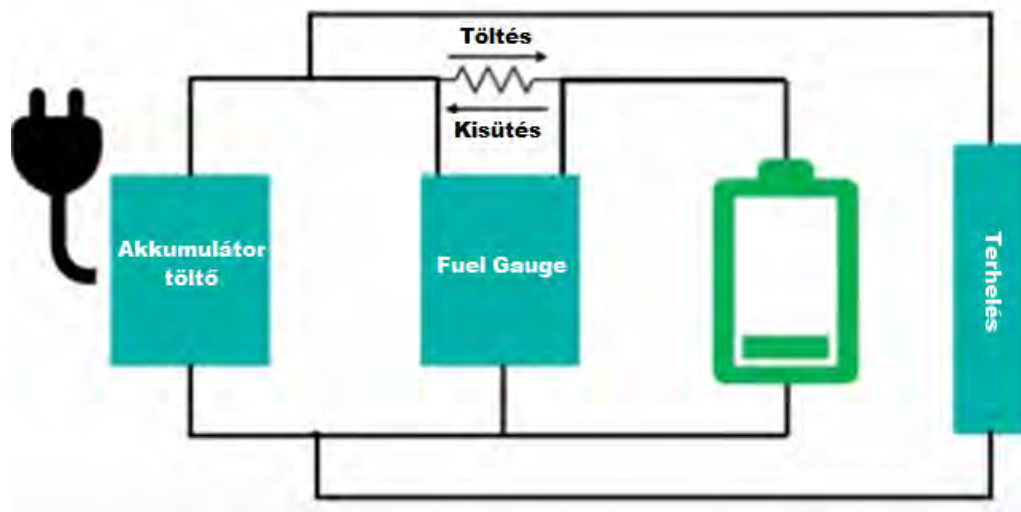
C_{rated} a névleges kapacitás,

I_b az akkumulátor árama,

I_{loss} a veszteségi áram.

A töltésmennyiség számlálásához a ki- és befolyó áramot kell mérni, amihez egy árammérő ellenállásra van szükség. Az érzékelő viszont folyamatosan energiát fogyaszt az eszköz működése közben. A technikát ma is használják, bár rendszerint fejlettebb algoritmusokba építik be a pontosabb eredmények elérése érdekében.

A kivehető kapacitás azonban mindig kevesebb, mint a teljes betöltött kapacitás az akkumulátor belső ellenállásából adódó veszteségek miatt. A veszteségek és az önkisülés egy folyamatosan halmozódó hibához vezet az idő előrehaladtával, amelyet a pontosabb mérések érdekében figyelembe kell venni később.

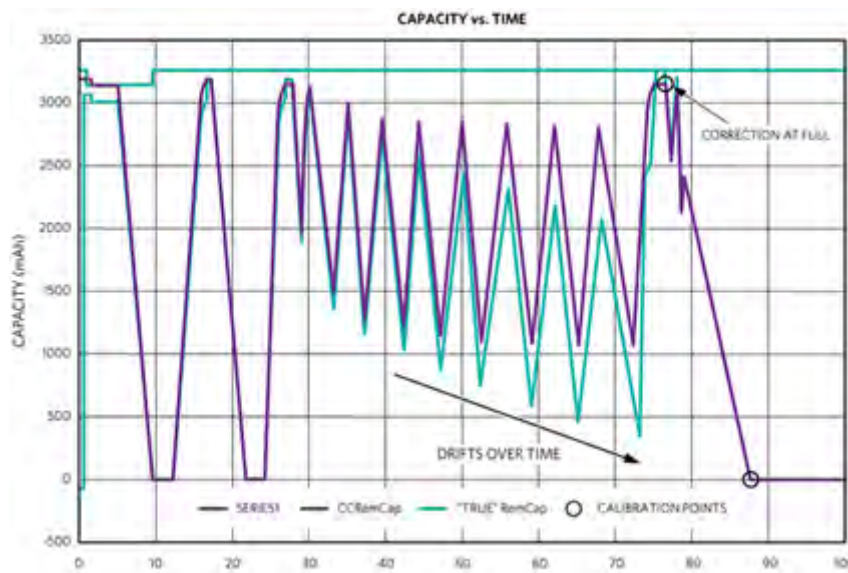


1. ábra: Fuel Gauge alkalmazása a töltési/kisütési folyamat során

Az akkumulátor töltöttségi állapot ellenőrzésének másik lehetséges módja az akkumulátor üresjárású feszültségének mérése, mivel a legtöbb akkumulátor típus esetében ez a töltöttségi állapottól függ. Az akkumulátor SOC értéke meghatározható kisütési tesztek elvégzésével is kontrollált körülmények között. A kapocsfeszültség ismeretében előre felvett kisütési görbék alapján (feszültség/SOC) meg lehet feleltetni azt az aktuális SOC értéknek, ezt azonban befolyásolja a terhelő áram és az akkumulátor hőmérséklet, amelyeket kompenzálni szükséges az aktuális körülményeknek megfelelően (áramterhelés kompenzáció és OCV/hőmérséklet look-up table alkalmazása). A tesztek sok időt igényelnek, a kisütések végeztével az akkumulátort újra fel is kell tölteni és a tesztek elvégzésének ideje alatt az eszköz nem is használható (offline módszer), ami megnehezíti ennek a módszernek az alkalmazását a legtöbb felhasználási terület esetében.

A hagyományos töltöttségi szint kijelzésre (Fuel Gauge) használt eszközök esetén elengedhetetlen a különféle akkumulátorok karakterizálása különböző feltételek mellett (eltérő terhelés, hőmérséklet stb.) az eszköz alkalmazását megelőzően, ez akár azonos kémiai szerkezetű akkumulátorok esetén is igaz lehet, mivel az eltérő fizikai kialakítás (méret, forma) is már jelentős eltéréseket okozhat. A folyamat akár 2-3 hetet is igénybe vehet, ami sok esetben nem engedhető meg egy fejlesztési folyamat során.

A ModelGauge M5 szükségtelenné teszi az akkumulátor karakterizálását, ezáltal erőforrásokat és időt takarít meg. Kiváló töltöttségi-szint becslést nyújt eltérő kémiai, kapacitású és töltési feszültség szint esetén is. Az algoritmus különféle akkumulátorokon lett tesztelve a gyártó által, amelyek adatai adatbázisból elérhetők. A ModelGauge M3 és ModelGauge M5 az eredeti OCV algoritmusba integrálva alkalmazza a „coulomb counting” módszert a pontosság növelése érdekében, emellett beépített hőmérséklet, öregedés, kisütési áramérték kompenzációval is rendelkezik.

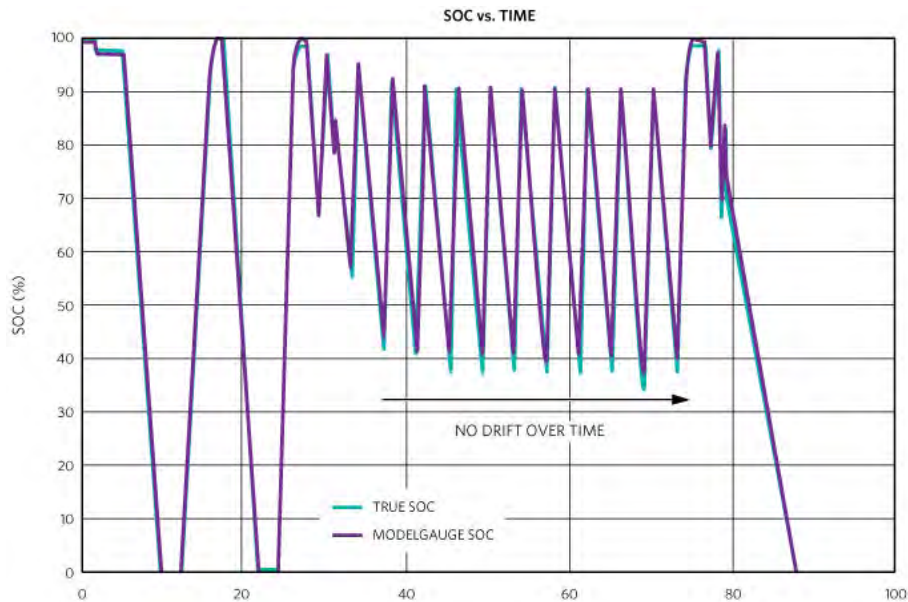


2. ábra: Coulomb-counting drift hiba⁵

A „coulomb counting” rövidtávon pontosabb eredményt szolgáltat az OCV-hez képest, de hosszútávon drift hibát visz a becslésbe, ezt időközönként OCV algoritmus segítségével pontosítják, vagyis kiveszik a drift okozta hibát a becslésből. A coulomb-counting egy folyamatosan növekvő hibát eredményez, ez a különböző ModelGauge algoritmusok felhasználásával jelentősen csökkenthető és szűk tartományban tartható, akár terhelés alatt is képes becsleni az akkumulátor SOC értékét. Az algoritmus kezdetben az OCV, később a coulomb-counting eredményeit veszi nagyobb súlyozással figyelembe.

5

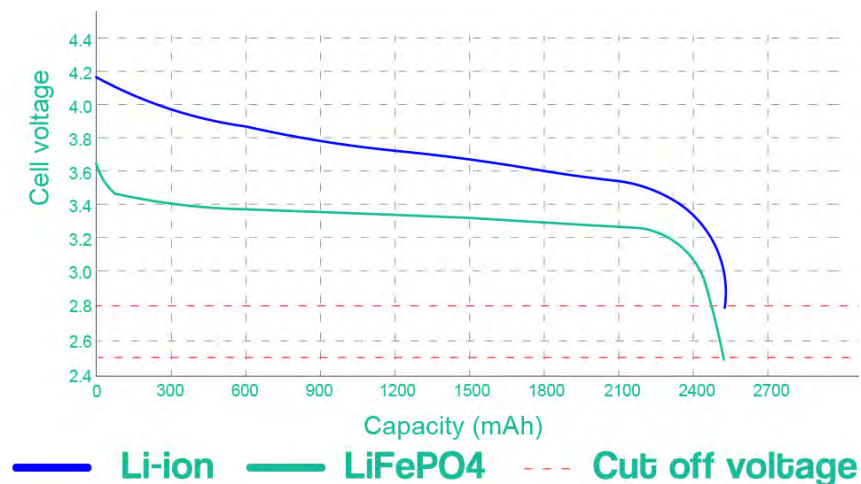
<https://www.maximintegrated.com/en/design/partners-and-technology/design-technology/modelgauge-battery-fuel-gauge-technology.html>



3. ábra: OCV kompenzálás hatása a becsült energiamennyiségre ⁶

LiFePO₄ akkumulátorok SOC és SOH becslése

Néhány li-ion akkumulátor fajta (LiFePO₄, LiMnO₂, LiNiO₂, Li₂TiO₃) esetén bonyolultabb a töltöttségi szint meghatározása, mert egyedi akkumulátor-modellt kell alkalmazni. A lítium-vas-foszfát (LFP) az egyik legbiztonságosabb lítium technológián alapuló típus, ami nagyon lapos kisütési görbével rendelkezik, ezért az ilyen cellák esetén egyéb szempontokat is figyelembe kell venni az SOC meghatározása során.



4. ábra: LiFePO₄ akkumulátorok lapos kisütési görbéje

6

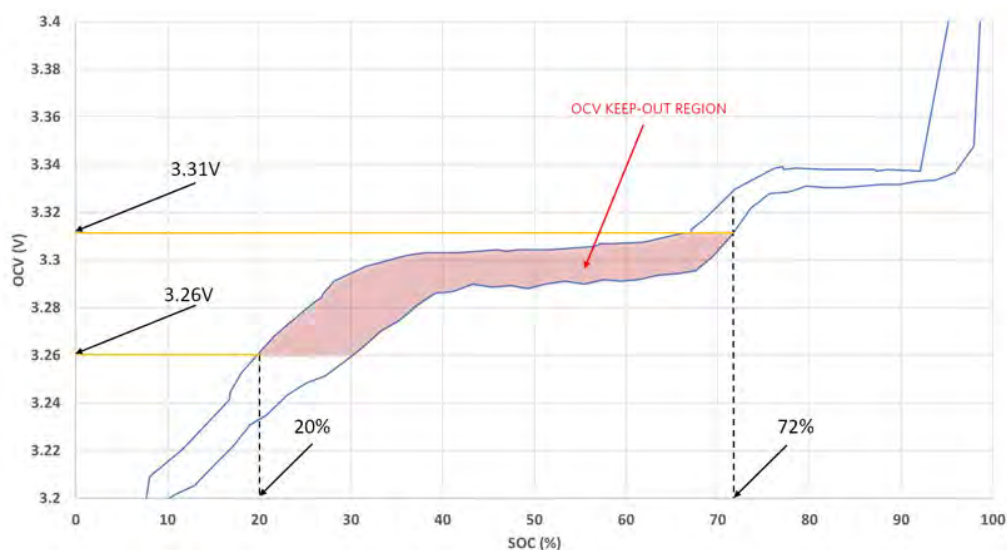
<https://www.maximintegrated.com/en/design/partners-and-technology/design-technology/modelgauge-battery-fuel-gauge-technology.html>

Más vegyi anyagokkal összehasonlítva ezek az akkumulátorok jellemzően alacsonyabb kapacitással és nagyobb önkisüléssel rendelkeznek, viszont szélesebb hőmérséklet-tartományban (-40 °C to +70 °C) használhatók, mint a legtöbb lítium alapú akkumulátor.

Termikusan és kémiaailag stabilabbak, nem gyulladnak ki még rövidzárlat vagy túltöltés esetén sem és nem hajlamosak túlmelegedésre. Jellemzően hosszabb élettartammal rendelkeznek (1000-2000 ciklus, míg a többi típus jellemzően 1000 alatti).

Nagyobb kisütőárammal lehet őket terhelni (akár 25 C értékig is) és alacsonyabb névleges kapocsfeszültséggel rendelkeznek (3.2 V, míg a többi 3.6-3.8 V).

Az LFP cellák rendkívül lapos feszültségprofillal rendelkeznek, ahol az SOC 1 %-os megváltozása mindössze néhány millivoltos változásnak felel meg az üresjárási kapocsfeszültség (OCV) görbén. A töltési és a kisütési folyamat során felvett feszültség karakterisztikát tekintve hiszterézissel rendelkezik, ami jelentős hibát vihet a rendszerbe csupán az OCV módszert alkalmazva.



5. ábra: ModelGauge működése LFP akkumulátor használata esetén

Az OCV algoritmust a karakterisztika lapos szakaszán nem használja, ilyenkor csak coulomb-számlálás történik. A tényleges kapacitás megállapításához pedig az ezen kívül eső tartományokat használja, mivel, ha ott is figyelembe venné az OCV értéket, akkor az a tanuló algoritmusán keresztül hibát vinne a rendszerbe.

Összegzés

A ModelGauge M5 algoritmus akár már néhány töltési ciklust követően is képes a tanuló algoritmus segítségével elég pontosan meghatározni a rákötött tetszőleges akkumulátor kapacitását, amit tovább lehet növelni néhány alap paraméter megadásával: cellakapacitás, üresjárási feszültség, maximális feszültség, cellaszám és hőmérséklet, szenzor típusa. A kitűzött céloknak megfelelően sikerült találni egy olyan megoldást, amellyel hatékonyan és jó pontossággal meg tudjuk becsülni a tervezett akkumulátor csomagjaink aktuális SOC és SOH értékeit. Rendkívül alacsony fogyasztású megoldás, nem igényel extra számítási kapacitást és hosszadalmas megelőző méréseket.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] Martin Murnane, Adel Ghazel: A Closer Look at State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries (Analog Devices Technical Article)
- [2] How to fuel gauge lithium-ion batteries without battery characterization with ModelGauge M5 EZ (Maxim Integrated Application Note)
- [3] MAX17055 ModelGauge M5 EZ user guide (Maxim Integrated Application Note)
- [4] Considerations for fuel gauging lithium-iron-phosphate batteries (Maxim Integrated Application Note)

Alacsony feszültségű, villamos hajtású jármű energiaelosztó rendszerének tervezése

Designing the energy distribution system of a low-voltage, electric vehicle

Szeli Zoltán

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

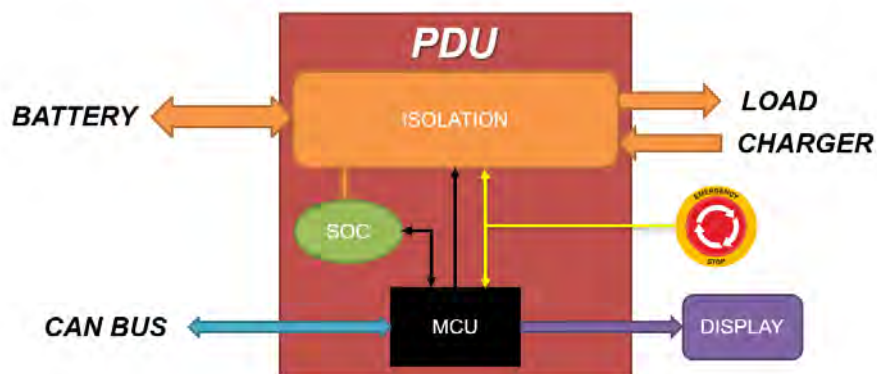
Absztrakt: A napjainkban egyre inkább elterjedőben lévő villamos hajtású kerékpárok, rollerek és egyéb kis teljesítményű járművek nagyrészt alacsony (<60VDC) feszültségről üzemelnek. Az energiaellátást nagy teljesítménysűrűségű akkumulátor biztosítja, amely általában lítium alapú. Az akkumulátorok üzemeltetéséhez akkumulátor felügyeleti rendszer szükséges. A cikk egy intelligens energiaelosztó rendszer felépítését és tervezését mutatja be, amely az akkumulátor felügyeleti rendszertől kapott adatok alapján becsüli az akkumulátor töltöttségét és élettartamát, valamint menedzseli a töltési és kisütési folyamatokat.

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

Abstract: Electric bicycles, scooters and other low-power vehicles, which are becoming more common today, operate largely on low (<60VDC) voltages. The power supply is provided by a high power density battery, which is usually lithium based. These types of batteries require a battery monitoring system to operate. This article describes the construction and design of an intelligent power distribution system that estimates battery state of charge and state of life based on data from the battery monitoring system and manages charging and discharging processes.

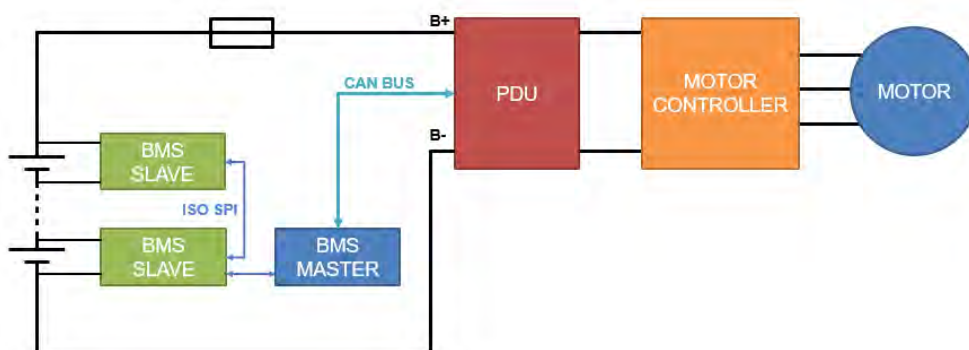
Keywords: lithium battery, battery management, energy management, MOSFET driver

Rendszer koncepció



1. ábra: Rendszer koncepció

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 energiaelosztó egység, amely képes leválasztani az energiatároló egységet a töltő vagy kisütő (motorvezérlő) elektronikától, hogy az akkumulátor a gyártó által meghatározott üzemi tartományon belül működjön. Az eszköz egy intelligens vezérlőegység, amely ki van egészítve akkumulátor-élettartam, illetve töltöttség-beclső 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.

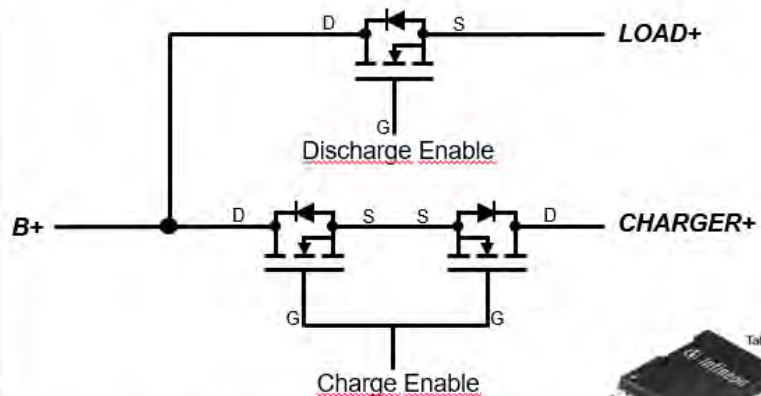
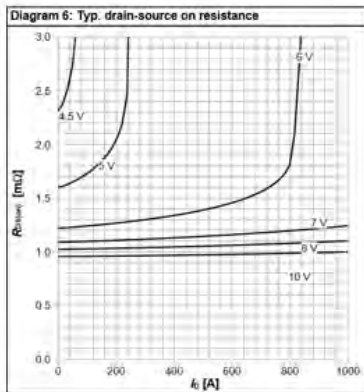


2. ábra: PDU elhelyezkedése a villamos rendszerben

Energiatároló leválasztás

Az energiatároló leválasztása félvezetők segítségével történik (3. ábra), mely 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.

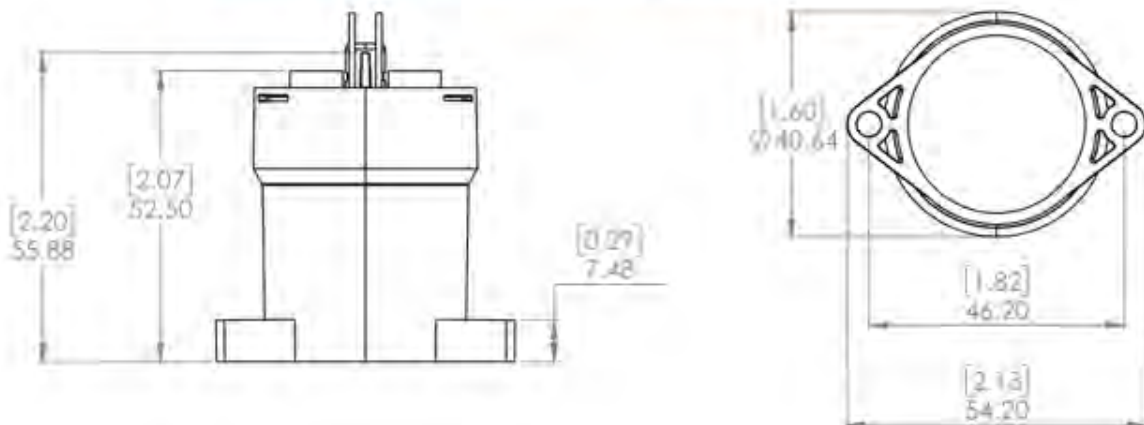
• INFINEON IPT010N08NM5



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

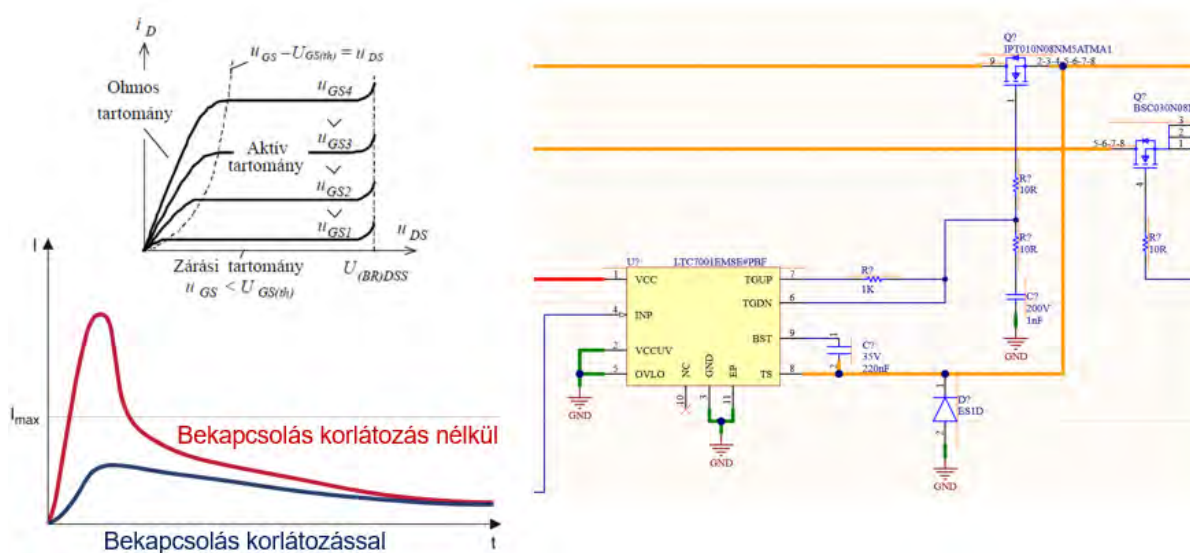
3. ábra: Töltés és kisütés leválasztása [1]

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 mm ² / 8 AWG) ¹	100A
	Continuous (21 mm ² / 4 AWG) ¹	150A
	Short Term -- 3 Minutes ²	200A



4. ábra: Elektromechanikus kontaktor [2]

A lágy bekapcsolás a MOSFET kimeneti karakterisztikájának köszönhetően egyszerű alkatrészekkel pontosan beállítható (5. ábra). A MOSFET Gate-Source kapacitásán lévő feszültség változtatásával korlátozható a kimeneti áram, így szabályozott előtöltést tudunk biztosítani a terhelő kapacitások számára.

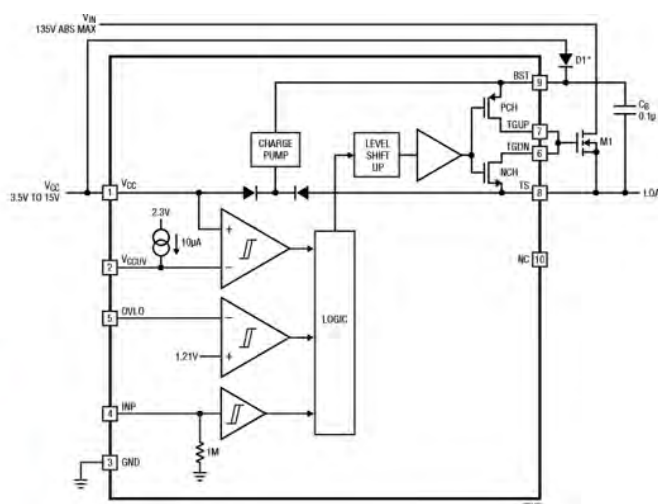


5. ábra: Bekapcsolási áram korlátozás

Mivel a kapcsoló MOSFET-ek felső oldalon vannak elhelyezve, vagyis a Source kivezetés nem a föld pontra csatlakozik, így a rákapcsolt feszültséghez képest kell biztosítani a nagyobb kapunyitó feszültséget, ehhez feszültségnövelő konverterre van szükség. Az általunk használt FET vezérlő áramkör ezt integrált módon valósítja meg és biztosítja a logikai jelszintekkel történő vezérlést (6. ábra).

• ANALOG DEVICES LTC7001

- Felső oldali statikus N-MOSFET meghajtó
- Integrált Charge-Pump
- 1Ω Pull-Down, 2.2Ω Pull-Up



6. ábra: Felső oldali FET vezérlő [3]

A Big Data szerepe az AMS tesztelési koncepció megvalósítása során

The role of Big Data in implementing the AMS testing concept

Tóth Gábor^a, Pekk Letícia^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

^bZalaegerszegi Technológiai Centrum

Absztrakt: Az AMS, vagyis Autonomous Mobility System tesztelési koncepció az önvezető járművek tesztelésével és az ahhoz szükséges tesztkörnyezetekkel kapcsolatos kutatásokra irányul. Az autonóm közlekedés első lépcsőfokának a különböző vezetéstámogató rendszerek (ADAS) tekinthetőek. Az ilyen biztonsági és kényelmi funkciókat betöltő rendszerek működésének megbízhatóságához, az azok által a különböző környezeti elemek és akadályok érzékeléséhez használt szenzorok megfelelően magas számú tesztelése szükséges, mint szimulált, mint valós tesztkörnyezetben. A különböző vezetést segítő funkciók betöltésére optimalizált rendszerek tesztelésére léteznek adott szituációkat leíró tesztprotokollok.

Tesztjeink felépítése során is az ilyen szituációkat leíró protokollokat vettük alapul, az egyszerűbb helyzetektől indulva az összetettebb, többszereplős tesztekig. Az ilyen tesztek során rögzített mérési adatokból, megfelelően magas számú ismétlés mellett pedig az adott szituációkat leíró hasznos statisztikai adatbázist hozhatunk létre, mivel a megfelelően specifikált szituációk eredményei összehasonlíthatóak maradnak. Az eredményként kapott adott szituációkat leíró adatbázisok pedig hasznos információt és referenciát nyújtanak az ADAS rendszerek fejlesztéséhez és teszteléséhez.

Kulcsszavak: ADAS, Autonóm jármű, Tesztkörnyezet

Abstract: The AMS or Autonomous Mobility System testing concept, focuses on researches into the testing of self-driving vehicles and the required test environments for them. The first step in autonomous transport is the various driver assistance systems (ADAS).

The reliability of the operation of systems with such safety and comfort functions requires a sufficiently high number of tests of the sensors they use to detect various environmental elements and obstacles, in a simulated and in a real test environment as well. There are test protocols describing specific situations for testing systems that are optimized to perform various driving assist functions.

In the design of our own tests, we also used protocols that describes such situations, as bases, started from simple situations to the more complex multi-player tests. From the measurement data recorded during such tests with a sufficiently high number of replicates, a useful statistical database describing the given situations can be created, as the results of the properly specified situations remain comparable. The resulting databases describing specific situations provide useful information and reference for the development and testing of ADAS systems.

Keywords: ADAS, Autonomous vehicle, Test environment

AMS tesztelési koncepció

Az AMS (Autonomous Mobility System), vagyis az Önvezető Mobilitási Rendszerek tesztelési koncepció az autonóm járművek által igényelt tesztkörnyezettel kapcsolatos kutatásokra és kísérleti fejlesztésekre irányul. A témához tehát szorosan kapcsolódnak az önvezető rendszerek kutatása, azok már létező tesztelési eljárásai, valamint az ezekhez eddig használt tesztkörnyezetek. A magasabb szintű önvezető járművek funkcióinak alapjaként tekinthetők a mai széria járművekben már egyre jobban elterjedt, fejlett vezetőtámogató rendszerek (ADAS - Advanced driver-assistance systems), ezáltal a tesztesetek és a szükséges tesztkörnyezetek szempontjából is az ezekre vonatkozó eljárások jelenthetik a kiindulási pontot.

Fejlett vezetőtámogató rendszerek (ADAS)

A fejlett vezetéstámogató rendszerek alkalmazásának célja, a biztonságosabb és komfortosabb közlekedés elősegítése, mely során a járművekbe épített támogató rendszerekkel bizonyos feladatok automatizálhatók, így csökkentve a vezetőre háruló feladatok számát, mely lehet bizonyos funkciók végzésének teljes gépi átvétele vagy kiegészítő figyelmeztetések, melyek különböző környezeti akadályokra vagy körülményekre hívják fel a vezető figyelmét. Jellemzően az ilyen rendszerekkel ellátott járműveken egyszerre több funkciót együttesen alkalmaznak, melyek saját feladatuk mellett egymás működését is támogathatják. Fontosabb ADAS rendszerek: Holttérfigyelő rendszer, Front Assist rendszer, Sávtartó asszisztens, Közlekedési torlódás asszisztens, amely az adaptív sebességszabályozás (ACC) (1. ábra) a sávtartó asszisztens rendszerek együttes alkalmazásán alapul, Távolsági fényszóró szabályozás, Kiállási asszisztens, Parkolási segéd, Vontatmány asszisztens, Közlekedési tábla felismerés.



1. ábra: ACC használata a teszt pályán

Ahhoz, hogy a vezetéstámogató rendszerek "megállapíthassák" a beavatkozások és figyelmeztetések szükségességét, a járműnek észlelnie kell az őt körülvevő környezetet és az ott található esetleges veszélyforrásokat. A vezetőt váratlanul érő események pontos és időben történő észlelésével az automatizált rendszerek gyorsabban, rövidebb reakcióidővel képesek a szükséges intézkedéseket végrehajtani, mint a vezető maga, ezért az asszisztensrendszerek működésének a kulcsa, a jármű külső és belső környezetének folyamatos figyelése és elemzése. A jármű fedélzetén elhelyezett különböző szenzorokból érkező információk alapján képes a rendszer a különböző helyzeteket felismerni. A járművek "látásáért" felelős legfontosabb eszközök a Radar, Lidar, kamerák és ultrahangos szenzorok.

Tesztelés szimulált és valós tesztkörnyezetben

A vezetéstámogató rendszerek fejlesztéséhez és működésüknek vizsgálatához megfelelően magas számú tesztelés elvégzése szükséges. Az ADAS rendszerek tesztelése során a különböző szenzorok által észlelt akadályokat és az azokra adott reakciókat vizsgáljuk. Az ilyen tesztek elvégzésének két fő módja, a valós és szimulált környezetben végzett tesztelés. Szimulált környezetben lehetőség van egységnyi idő alatt több teszt elvégzése, mint valós környezetben, valódi eszközökkel végzetek esetében, emellett jó referenciaként szolgálhatnak a valós mérésekhez (2. ábra), melyek még mindig elengedhetetlenek, de a szimulációk segítségével tökéletesíthetőek már az első valóban elvégzett teszt előtt.



2. ábra: Teszthelyzet valós és szimulált környezetben

A mi esetünkben a szimulációk legnagyobb segítséggel a teszthelyzeteink felépítésében és a megfelelő helyszínek kiválasztásában voltak. A teszt során használt eszközök modelljeinek elhelyezésével meg tudtuk vizsgálni a tesztek megvalósíthatóságát az egyes tesztpályamodulokon, különböző sebességekkel, ezek után elkezdhattuk a saját teszteseteink definiálását.

Szituációkat leíró tesztprotokollok

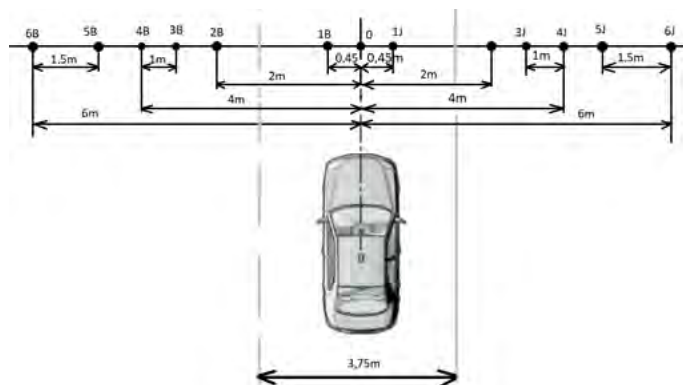
Az egyes vezetéstámogató funkciók megfelelő működésének vizsgálatához specifikus tesztszenariók elvégzése szükséges. A legfontosabb biztonsági segédrendszerek esetében készültek már az adott tesztek elvégzési módját leíró tesztprotokollok. Az ilyen dokumentumok magukban foglalják valós tesztek specifikációit, minden paraméterét, a szükséges eszközöket és azok elhelyezését is, mint például a tesztkörülmenyeket; a tesztútvonulat; az időjárási körülményeket; a tesztkörnyezet követelményeit; a jármű előkészítést: gumiabroncsok, járműkalibrálás, jármű bemelegítés és a fékrendszer beállítása, mindezek mellett a tesztek elvégzése előtt a teszt alanyaként szolgáló jármű fedélzeti szenzorjait kalibrálni kell, ehhez pedig kalibrációs laborra is szükség lehet.

A tesztjármű szenzorjainak célpontjaként általában egy gyalogost, kerékpárost vagy járművet helyettesítő tesztbábút használunk, amelyek meghatározott pályán haladhatnak és tulajdonságaikban megegyeznek valódi megfelelőjükkel. A tesztbábuk (Dummy) kialakításukra és kinézetükre is léteznek szabványok, amelyek a valódi megfelelőjük legáltalánosabb kinézetén alapulnak, mely szükséges a validációs tesztek standardizálhatóságához, de a kutatás-fejlesztésben egy fontos terület a szabványostól eltérő esetek vizsgálata is, így nem csak szabványos Dummy-kat használunk, hanem például vizsgálhatjuk a bábuk szabványostól eltérő öltözékének hatását a szenzorok által rögzített értékekben.

Az autonóm járművek által igényelt tesztkörnyezettel kapcsolatos kutatásokhoz szükséges tesztszituációk kidolgozását az egyszerűbb, statikus szituációk létrehozásával kezdtük, melynek során a mozgó tesztjármű mellett a különböző épített környezeti elemeken és statikus akadályokon van a mérések fókuszja. A későbbiekben ezek bővítésével haladhatunk az egyre komplexebb helyzetek felé, ahol már több egyidőben mozgó jármű és változó környezeti elem szerepel.

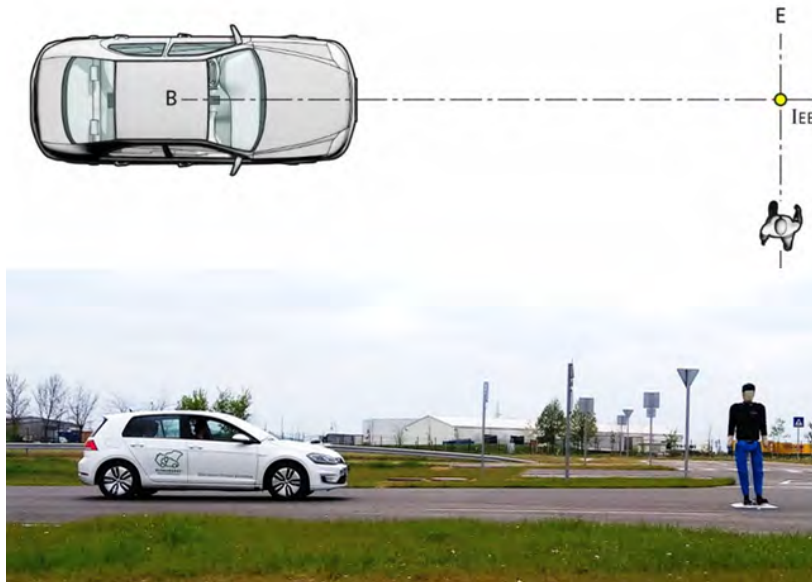
Célunk, hogy az eddig már létező tesztprotokollokat figyelembe vegyük a tesztheink megalkotása során, hiszen az ezeknek való megfelelés tekinthető az adott funkciók működésének alapszintjének, de ezek a leggyakoribb és általánosított forgalmi helyzeteket modelleznek, így szeretnénk ezeket meghaladva, egyedibb és specifikusabb scenariókat is felépíteni.

Az első saját teszthelyzetünk kidolgozásához az Automata Vészfékező Rendszerek tesztelésére vonatkozó EuroNCAP protokollt [1] vettük alapul és dolgoztuk át, úgy, hogy a mozgó akadály (Dummy bábu) helyett itt még statikus, egy adott pontban elhelyezett használunk. A mozgó bábu által bejárandó pálya alapján határoztunk meg fix pontokat, ahova a statikus bábut helyezük, ezáltal a teszthelyzetünkben megkülönböztünk alhelyzeteket a Dummy pozíciója alapján. Például az 1. helyzetünk 1. változatában (1.1. helyzet) a statikus Dummy bábu a 0. pontban (3. ábra), a forgalmi sáv középvezénél helyezkedik el, így ütközés során a becsapódási pont a jármű 50 %-ánál lenne.



3. ábra: Dummy bábu elhelyezési pontjai az 1. teszthelyzet során

Az említett gyalogos és jármű közti tesztszituáció alapján végeztünk magas számú mérést, melyek során az előre definiált elrendezésben felállított tesztben a gyalogost helyettesítő tesztbábút a 0. pontba helyzetük és 30 km/h-val közelítve haladtunk felé a tesztjárművel (4. ábra). A mérések elvégzéséhez egy saját, radar szenzor alapú mérőrendszert használtunk a jármű elejére erősítve, mellyel rögzíteni tudtuk a szenzor látóterébe lévő objektumok által visszavert radarkeresztmetszeti értékeket a szenzortól való távolság függvényében.

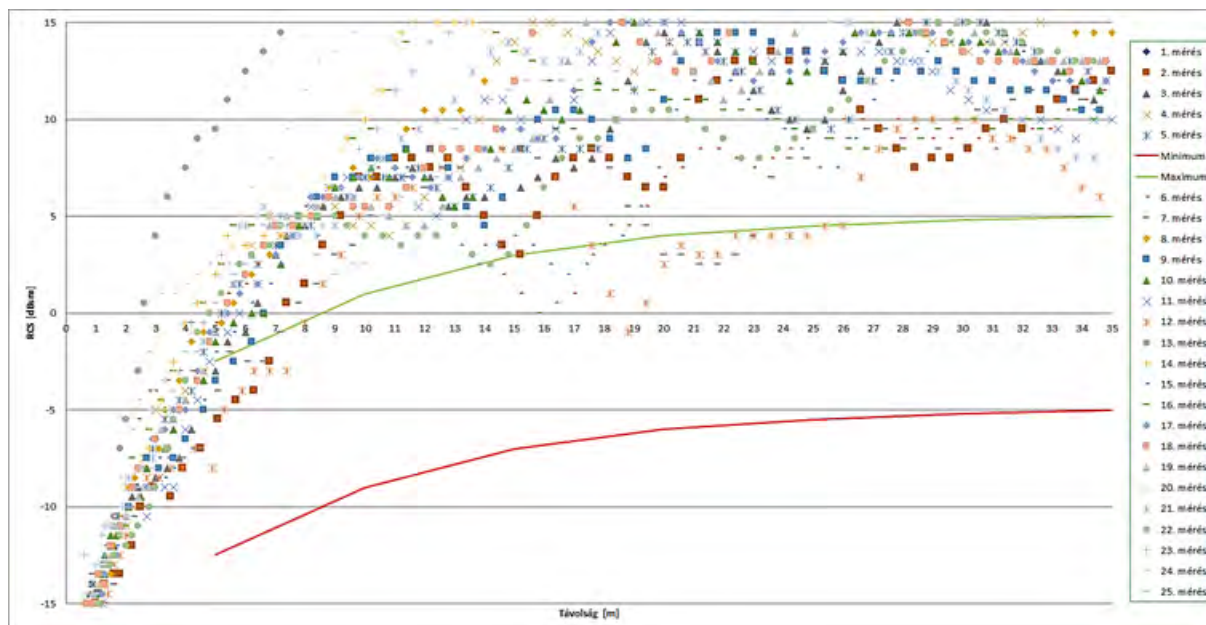


4. ábra: 1.1. Teszteset vázlata és mérés végzése a tesztpályán

A mérőrendszer beállításai alapján a radar a 35 m-nél közelebbi akadályokat „látja”, lekorlátozva a jármű forgalmi sávjára, így a tesztek során a vezető a bábutól körülbelül 50 m-es távolságból indulva felgyorsít 30 km/h-ra, majd elérve - sebességkorlátozó automatika használatával - állandó sebességgel halad az akadály felé. A manőver végén, az ütközés bekövetkezése előtt a tesztjármű vezetője manuálisan végzi a fékezést, mivel ebben az esetben nem az adott jármű AEB funkciójának validálása a cél, hanem a jármű elejére szerelt rendszer által mért adatok rögzítése.

Mérési adatbázis

A radar szenzor alapú méréseink eredményeként táblázatos formában mentjük a mért radarkeresztmetszeti- és a hozzájuk tartozó távolság értékeket. A radar általában több objektumot is érzékel a meghatározott látómezőben, így szűréssel ki kell zárunk az egyéb érzékelt tárgyakat, amelyek jellemzően kevesebb adattal rendelkeznek, mint a mérés céltárgya, ezután tudjuk grafikonban ábrázolni a radarértékeket a különböző távolságokban. Adott szituáció többszöri elvégzésével az egyes görbék együtt ábrázolhatóak a grafikonon és összehasonlíthatóak. A teszthelyzetek elrendezése, elvégzési módja előre definiált, így az azonos szituáció alapján végzett mérések eredményei összevethetőek.



5. ábra: 1.1. helyzet 25 db mérésének összesített adatai

Például az 5. ábrán látható 25 db 1.1. helyzet szerinti mérés eredménye összesítve ábrázolva egy grafikonba, ahol jól látható az egyes mérések szórása és egy átlagos tartomány. Látható még az elméleti ideális minimum és maximum vonala, de esetünkben egy fejlesztési nem szabványos bábút használtunk célpontként, amely kicsit eltér az ideális gyalogos értékeitől.

A megfelelően magas számú elvégzett azonos mérések alapján kapott adatok segítségével, az adott szituációt leíró adathalmazokat hozhatunk létre. Az ilyen Big Data gyűjtemények nagyon hasznosak a jövőben, a különböző új és meglévő vezetéstámogató rendszerek fejlesztéséhez, ahol a mérési eredmények referenciaként szolgálhatnak a szimulációkhoz, a valós tesztekhez vagy akár a szenzorok beállításához/finomhangolásához. A mérések során pedig vizsgálhatjuk az azonos szituációba helyezett különböző akadályok által okozott mérési különbségeket.

A továbbiakban pedig az adatgyűjtemény folyamatosan bővíthető újabb statikus, dinamikus vagy összetett helyzetekkel, valamint az egyes mérések során rögzített különböző paraméterrel, mint például a mozgó objektumok sebessége, így egy még komplexebb szituációkat leíró adatbázist építhetünk fel, specifikus szituációk jellemző mérési eredményeiből/értékeiből.

A fejlett vezetéstámogató rendszerek valós környezeti tesztelése és annak validált kiértékelése nagy kihívást jelent a járműipari szereplők számára. Az ADAS rendszerek összetett, komplex rendszeregyüttesek, amelyek különböző technológiai elemekből tevődnek össze. A technológiai elemek rohamosan fejlődnek, változnak, elévülnek és újak jelennek meg. Fontos a technológiai trendek nyomkövetése és a kompetencia elsajátítása az alkalmazásukhoz. Az önvezető jármű, mint technológiai trend adta technológia elemek tesztelési irányainak alapjait kezdte elsajátítani a ZalaZONE SZE JKK csapata is, melynek alapján lesz képes szolgáltatást formálni a leendő járműipari partnerek számára.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

The research was supported by the Government of Hungary and funded by the European Union Recovery and Resilience Plan within the framework of the Autonomous Systems National Laboratory Program (RRF-2.3.1-21-2022-00002).

Irodalomjegyzék

- [1] EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP): TEST PROTOCOL – AEB VRU systems, *Version 3.0.4 (April 2021)*

Magyar autóipari vállalatok pénzügyi adatainak elemzése a 2015-2019-es időszakban

Financial data analysis of Hungarian automotive companies in the period 2015-2019

Suta Alex^a, Vig Sára Gerda^a, Kelemen Kitti^a, Tóth Árpád^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: Az elmúlt évtizedekben az autóipar esetében az egész világon átvéelő termelési rendszerek kiépülését és infrastrukturális fejlődését figyelhattuk meg. Az említett hálózatok nemzetközi együttműködések által jöttek létre és lehetővé tették, új piaci struktúrák szerveződését. Magyarországra dinamikus növekedés volt jellemző, ahol az autóipar jelentős szerepet ért el az ország gazdaságában. A tanulmány célja, hogy áttekintsük a téma korábbi szakirodalmát, és feltérképezzük a magyar autóipar pénzügyi helyzetét és fejlődését a 2015-2019-es időszakban, hangsúlyt fektetve az iparág vállalatainak fundamentális elemzésére. A kijelölt fő pénzügyi- és gazdasági mutatószámokat táblázatok és diagramok formájában elemeztük, valamint azokat megyei szinten kartográfiák szerkesztésével hasonlítottuk össze. Az eredmények alapján megfigyelést tettünk az autóipar járványhelyzet előtti állapotára.

Kulcsszavak: fundamentális elemzés, autóipar, pénzügyi elemzés

Abstract: In recent decades, the automotive industry has witnessed the emergence of global production systems and cross-border market structures. Hungary has experienced dynamic growth, with the automotive industry playing a significant role in the country's economy. This paper aims to review the previous literature on the subject and to map the financial situation and development of the Hungarian automotive industry in the period 2015-2019, with an emphasis on the fundamental analysis of the companies in the industry. The selected key financial and economic indicators were analysed in the form of tables and charts and compared at the county level by constructing cartographies. The results were used to make observations on the pre-epidemic state of the automotive industry.

Keywords: fundamental analysis, automotive industry, financial analysis

JEL kód: M41

Bevezetés

A Kelet-Közép Európában található legtöbb országra, így Magyarországra is a duális gazdasági struktúra és az exportorientált termelés jellemző, amely nagy részben hozzájárult az iparág gyors növekedéséhez. Magyarország a leginkább iparosított országok közé sorolható Európában, mivel a GDP majdnem 24%-át az ipar teszi ki. Hazánk gazdasági teljesítménye nagy részben az autóiipartól és az ahhoz kapcsolódó iparágaktól függ, amelyek fejlődésében nagy segítséget nyújtottak más európai országok (Nick et al., 2019). Több nagy autó- és motorgyár telephelye is megtalálható elszórtan egyes városainkban, mint például Győrben az Audi, Kecskeméten a Mercedes-Benz, Szentgotthárdon az Opel és Esztergomban a Suzuki. Az elektromos meghajtású járművek egyre nagyobb jelentőséggel bírnak, hiszen azok előállítására egyre több gépiesítést igényel. Ennek következtében, az autonóm járműipar jövője függ az általános modernizációtól és azok területi elterjedésétől (Molnár et al., 2020). Az utóbbi években az ipar 4.0 jelentette a legnagyobb kihívást a magyar gazdaságnak. A koncepciót először Németországban használták 2011-ben, intézkedések kombinációjaként, hogy stratégiai módon fejlesszék az ipart (Hermann et al., 2015; Bartodziej, 2017). Alapvetően új technológiákat jelent, amik a digitalizáción, automatizáción, robotizáláson alapulnak.

A tanulmány célja, hogy áttekintsük a téma korábbi szakirodalmát, és feltérképezzük a magyar autóiipar pénzügyi helyzetét és fejlődését a 2015-2019-es időszakban, hangsúlyt fektetve az iparágban vállalatok számára a fundaméntális elemzésre.

Szakirodalmi áttekintés

Módszertani ismeretek

A duális gazdasági felépítésnek köszönhetően technikailag fejlett országoktól kap segítséget Magyarország, míg a helyi résztvevőknél olyan problémák is felmerülhetnek, mint például a megfelelő mennyiségű vagy minőségű erőforrás biztosítása. Általános célok közé tartozik, hogy minél több szakképzett munkatársat alkalmazzanak, ami hozzájárul a jobb teljesítőképességhez.

A szekunder adatgyűjtés során azt tapasztaltuk, hogy kevés olyan tanulmány található az interneten, amely a magyar autóipar pénzügyi helyzetét önállóan elemzi. A legtöbb esetben, Magyarország helyzete csak összehasonlítás szintjén jelent meg. A kutatásunkat segítő szakirodalmak nagy része egy kész adatbázis használatával készített leíró elemzést. Kvantitatív, kérdőíves kutatást alapul véve megtudhattuk, hogy a hazai ipar digitalizációja csak speciális területi egységek kialakításával érhető el. Viszonylag nagy minta számmal dolgoztak, hiszen 168 cégtől érkezett válasz, amiből 45 volt autóipari. Az iparág nagy befolyással rendelkezik a hazai iparban, azonban nem minden régióban van ekkora jelentősége (Nick et al., 2019). A folyamatos fejlődése során megfigyelhető a területi koncentráció, amivel párhuzamosan vált egyre stabilabb szektorrá. Részletes, időszakos adatok hiányában, egy általános regionális elemzést végeztek a 20 egység, azaz a 19 megye és a főváros vizsgálatával. A negyedik ipari forradalom szükségessé teszi, hogy a szerkezeti változásokat érintő mérőszámokat is megfontoljuk (Molnár et al., 2020). A legtöbbször előforduló módszer, az általános versenyképesség elemzése, amellyel a gazdasági fejlődést legjobban befolyásoló tényezők azonosíthatók (Smahó, 2012).

Gazdasági szempontból, a verseny kettő vagy több résztvevőből álló tevékenység, ahol az egymással szembeni előnyszerzés a cél (Chikán, 2008). Vállalati szinten, a verseny minél jobb piaci pozícióért, területi és országos szinten pedig jobb regionális helyzetért való küzdelmet jelent (CEC., 1996; OECD., 1997; OECD., 1998). A pénzügyi elemzések egyik alapvető része a versenyképesség mérése. A versenyképességet különböző indikátorokkal tudjuk mérni, amely segítséget nyújt a vállalatok összehasonlításában. Egy terület versenyképességét a Lengyel piramis modell segítségével is meghatározhatjuk. A megfigyelés során a helyi környezet kimagasló szerepet játszik, ami alátámasztja, hogy ennek a vizsgálata közelebb visz minket a negyedik ipari forradalomhoz. Ebben a piramis modellben kis – és közép vállalkozásokat fő tényezőként azonosítanak, amik közvetlenül és rövid távon fejleszthetik az adott terület versenyképességét (Lengyel, 2010).

Az elméleti és a gyakorlatorientált modellek is nagy hangsúlyt fektetnek a telepítési tényezők beazonosítására. Murray et al. kutatásai szerint három csoportra oszthatók azok a telepítési tényezők, melyek az autóipar számára meghatározóak. Az első kategóriába olyan indikátorok sorolhatók, melyek a működéshez kapcsolódó költség szintjét befolyásolják, mint például a munkabér, rezsiköltségek, nyersanyag költségek és az adók. Ezen kívül, ide tartozik még a munkatermelékenység, az infrastruktúra fejlettsége, a közszolgáltatások színvonala és elérhetősége.

A második csoportba olyan tényezők tartoznak, mint például a piacoktól való távolság, demográfiai jellemzők és az urbanizáció mértéke. A harmadik csoportot pedig az életminőséget meghatározó tényezők alkotják, amik közé a természeti környezet, bűnözési ráta és az oktatási lehetőségek sorolhatók (Murray et al., 1999). Rechnitzer egy másik módszert dolgozott ki, ami alapján két csoportra osztotta a járműipar szempontjából fontos indikátorokat. A kemény tényezőket az adórendszer, a munkaerőpiac, az infrastruktúra, a gazdasági és vallási környezet, a potenciális beszállítók jelenléte és a járműipari tradíciók alkotják. A puha tényezők közé soroljuk a kulturális tényezőket, a lakókörnyezet minőségét, a K+F bázist, a közigazgatás és infrastruktúra minőségét, a szabadidő értékét, a város vonzerejét, az innovációs milliőt és az iparági kapcsolatokat (Rechnitzer, 2003). Azonban, az alábbi tényezőket már telephelyválasztás során is érdemes figyelembe vennie egy járműipari cégnek: piacok közelsége, megfelelően képzett munkaerő, K+F intézmények, autóiparhoz köthető iparágak jelenléte, infrastruktúra és a stabil környezet (Füzi, Gombos & Tóth, 2012).

Autóipar helyzete magyarországon

Magyarországon is fontos szempont egy vállalat létrehozásakor, hogy a telephely földrajzilag előnyösen helyezkedjen el, hiszen a szállítók közelsége és a helyi jó munkaerőforrás kedvező. Előzetes tanulmányok bebizonyították, hogy a Győr-Esztergom-Szentgotthárd háromszög háromezer kilométeres körzetében évente több millió motort és 500-600 ezer járművet gyártanak. Ennek köszönhetően egy olyan régió jött létre a század elején, ahol jellemzően más-más gazdasági szervezet gyárai találhatóak. A gépjárműipar, azon belül is a személy és önműködő járművek gyártása Közép- és Nyugat-Dunántúlon fejlődött jobban. A megyék versenyképesség szerinti rangsora is igazolja az előbbi állítást, mivel csak kettő, Győr-Moson-Sopron és Komárom-Esztergom megye került a viszonylag erős versenyképességgel rendelkezők kategóriájába (Smahó, 2012). A 2008-as gazdasági válság utáni időszakban, körülbelül 2013-ig, észlelhető a mérsékelt átrendeződés, aminek a győztese Észak-Dunántúl volt. Ekkor erősödött meg a szektor ebben a régióban. Az autóiparban alkalmazottak száma először Győr-Moson-Sopron megyében nőtt rohamosan, majd Komárom-Esztergom, Vas, Veszprém és Fejér megyében is elkezdődött az erőteljes növekedés. Ennek köszönhetően 2018-ra ez a terület lett az uralkodó a foglalkoztatottak számát tekintve, hiszen az ország gépjárműipari alkalmazottainak 62,5 %-a itt figyelhető meg, ami 64 695 alkalmazottat jelent. Észak-Magyarország és az Alföld esélyei is javulnak, és nagy eséllyel fejlődhetnek, akár a vezető régiók kárára is (Molnár et al., 2020).

1. táblázat: Az gépjárműipari alkalmazottak száma és megoszlása Magyarországon

Table 1 Number and distribution of employees in the automotive industry in Hungary

Régiók	2018	
	Szám	%
Közép-Magyarország	9 557	9,2
Észak-Dunántúl	64 695	62,5
Dél-Magyarország	3 748	3,6
Észak-Magyarország	14 139	13,7
Alföld	11 384	11
Magyarország	103 523	100

Forrás: Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, 2019

A foglalkoztatottak számának növekedése nagyrészt pár kiemelkedő vállalatnak tulajdonítható. Ezek nagyrészt 2008 előtt alapított külföldi tulajdonú leányvállalatok, akiknek a befektetéseik döntő szerepet játszanak a stabilitásban. Nagy valószínűséggel a kormány támogatása is hozzájárul a sikereikhez. A legjobb példa a győri Audi gyár, ahol funkcionális javulás következtében az autó összeszerelő gépparkot átalakították, hogy teljes autó gyártására alkalmas legyen. Országos szinten ez a legtöbb alkalmazottal rendelkező autóiipari vállalat, ahol 2018-ban közel 13 000-en dolgoztak. A magyar gépjárműipar földrajzi megoszlása tükrözi a külföldi vállalatok döntéseit és a felbukkanó belföldi szállítványozók területiségét, hiszen a bekövetkező változások 97 %-a külföldi irányítású vállalatokhoz köthető. Ez az érték bőven az 53%-os nemzeti átlag felett van, valamint az egyik legnagyobb a gyártóiparban. A foglalkoztatás növekedése azt mutatja, hogy még mindig van lehetőség a teljesítőképesség növelésére és Magyarország célállomás a beruházásoknak, valamint a negyedik ipari forradalom fejlesztéseivel kapcsolatos negatív várakozások nem következtek be. Az automatizálás nem vezetett csökkenésekhez, mivel akit technológiai újítások miatt elbocsátanak, őket a legtöbbször más területen alkalmazzák a cégen belül, hiszen a termelőképesség növelése gyakori (Molnár et al., 2020).

Módszertan

A tanulmány célja, hogy feltérképezzük a magyar autóipar pénzügyi helyzetét és fejlődését a 2010-2019-es időszakban, hangsúlyt fektetve az iparág vállalatainak fundamentális elemzésére. A minta alanyait a következő TEÁOR kódok alapján választottuk ki:

- 2910: Közúti gépjármű gyártása,
- 2920: Gépjármű-karosszéria, pótkocsi gyártása,
- 2931: Járművillamossági, -elektronikai készülékek gyártása,
- 2932: Közúti jármű, járműmotor alkatrészeinek gyártása,
- 3040: Katonai harcjármű gyártása,
- 4511: Személygépjármű-, könnyűgépjármű-kereskedelem,
- 4519: Egyéb gépjármű-kereskedelem,
- 4520: Gépjárműjavítás, -karbantartás,
- 4531: Gépjárműalkatrész-nagykereskedelem,
- 4532: Gépjárműalkatrész-kiskereskedelem,
- 7711: Személygépjármű kölcsönzése,
- 7712: Gépjárműkölcsönzés.

A cégek adatait a CrefoPort adatbázis segítségével szűrtük le. A kapott listában 1705 cég szerepel. Köztük 1034 mikrovállalkozás, 463 kisvállalkozás, 153 középvállalkozás és 55 nagyvállalkozás található. A cégméret meghatározásához az Európai Bizottság értékhatárait és az MNB 2019.12.31-i középárfolyamát (330,52 Ft) használtunk a 2019-es év beszámolóadatai alapján. Az általunk elemzett minta a mikro vállalkozásokat nem tartalmazza, így 671 vállalatot foglal magában, melyek Magyarországon aktívan működnek. A kijelölt fő pénzügyi- és gazdasági mutatószámokat táblázatok és diagramok formájában elemeztük, valamint azokat megyei szinten kartográfiai szerkesztésével hasonlítottuk össze.

Eredmények

Autóipar magyarországon

A kiválasztott TEÁOR kódok alapján leszűrt mintánk 671 vállalkozást tartalmaz, amelyben megtalálhatók kis-, közép- és nagyvállalkozások is. A cégek között a kisvállalkozások szerepelnek a legnagyobb arányban, mivel az elemzett minta 69%-át teszik ki.

A középvállalkozások száma 153, ami 23%-os megoszlást jelent. A nagyvállalkozások száma lényegesen kevesebb, hiszen csak 8 %-os az arányuk. Annak ellenére, hogy ezekből a cégekből van a legkevesebb, az alkalmazottak 65%-a náluk tevékenykedik. A középvállalkozásoknál összesen 25,5 ezer dolgozót foglalkoztatnak, míg a kisvállalkozásoknál 15,3 ezer alkalmazott látható.

2. táblázat: Összesített adatok

Table 2 Aggregated data

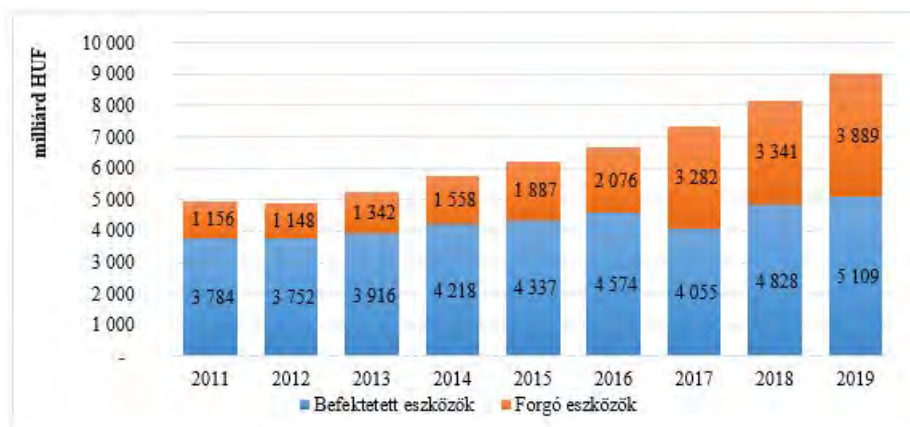
Cégméret	Darabszám	Százalékos megoszlás	Alkalmazottak	Százalékos megoszlás
Kis	463	69 %	15 329	13 %
Közép	153	23 %	25 543	21 %
Nagy	55	8 %	75 186	65 %
Összesen	671		115 058	

Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

Az eszközök összetételével kapcsolatban megfigyelhető, hogy minden évben a befektetett eszközök aránya volt a legnagyobb, ami az utolsó évre elérte az 5000 milliárd forintot is. A forgóeszközök esetében is növekvő tendencia látható, aminek szintén 2019-ben lett a legmagasabb az értéke. Összességében elmondhatjuk, hogy nem ingadoztak az értékek a vizsgált időszakban.

1. ábra: Eszközök összetétele 2011-2019

Figure 1: Structure of assets 2011-2019

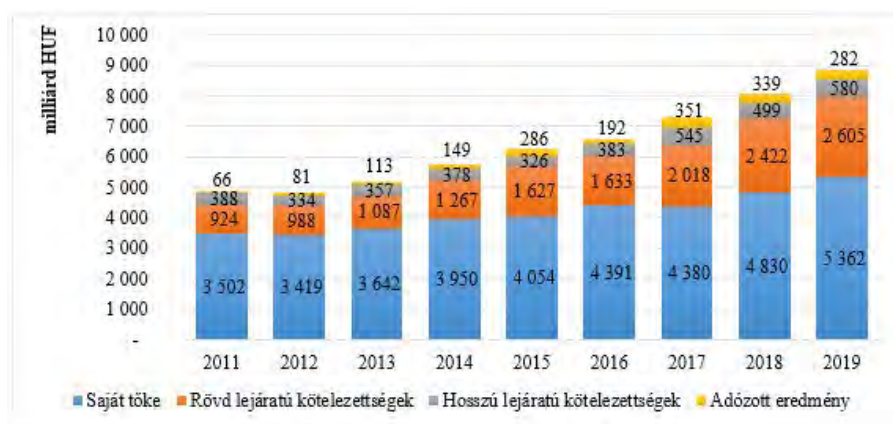


Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

A források legjelentősebb összetevője a saját tőke, ami 2019-re meghaladta az 5000 milliárd forintot. A kötelezettségek közül a rövid lejáratúak aránya a magasabb, ami folyamatosan emelkedett a vizsgált időszakban. A legnagyobb értéket az utolsó évben éri el a 2605 milliárd forinttal. A hosszú lejáratú kötelezettségek legnagyobb értéke 580 milliárd forint. A saját tőke minden évben fedezi a kötelezettségeket. Az adózott eredmény van jelen a legkisebb arányban, aminek az értéke 2017-ben volt a legmagasabb.

2. ábra: Források összetétele 2011-2019

Figure 2 Structure of liabilities and equity 2011-2019



Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

Top 10 vállalkozás szerepe

Mint, ahogyan már korábban említettük, az elemzés során kiszűrtük a mintánkban szereplő mikro vállalkozásokat, így az elemszám 671 lett. Ebből a sokaságból a 2019. évi nettó árbevétel alapján választottuk ki a top 10 céget, melyek fő mérlegadataiból (eszköz, forrás összetétel, valamint rövid és hosszú lejáratú kötelezettségek, saját tőke és adózott eredmény megoszlása) összefoglaló ábrát készítettünk.

Magyarországon kiemelkedő szerepe van az autópárhazban az Audi Hungaria Zrt., Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft. és a Magyar Suzuki Zrt. cégeknek, melyek nettó árbevétele meghaladja az évi 500 milliárd forintot. Ezek közül különösen kiemelendő, hogy az Audi Hungaria Zrt. és a Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft. nettó árbevétele meghaladta az 1 billió forintot is 2019-ben. A fent említett vállalatok mellett a top 10 cég körébe tartozik a Porsche Hungaria Kereskedelmi Kft., a Robert Bosch Energy and Body Systems Kft., valamint a MOBIS Parts Europe N.V Magyarországi Fióktelepe és az SMR Automotive Mirror Technology Hungary Bt., továbbá a Schaeffer Savaria Kft., a DENSO Gyártó Magyarország Kft. és a Toyota Central Europe Kft.

Az említett vállalatok az összes (671) magyar autóipari cég esetében az értékesítés nettó árbevételének 52%-át teszik ki. E mellett az iparban tevékenykedők 20%-át foglalkoztatják, ami 34,1 ezer főt foglal magában. Legmagasabb arányban a saját tőke esetében képviseltetik magukat, ugyanis az említett tétel 72%-át teszik ki, 3795,6 milliárd Ft-ot. Szintén magas arányban tűnnek fel az eszközök (56%) 5081,5 milliárd Ft értékben és valamivel kevesebb mértékben a kötelezettségek (32%), melyek 1014,5 milliárd Ft-ot tesznek ki.

Az eszközök összetételéről készített ábra megmutatja, hogy az elmúlt 10 évben a befektetett eszközök szerepe volt a legjelentősebb, azonban 2017-től megfigyelhető a forgóeszközök jelentős növekedése. A vizsgált időszakban a befektetett eszközök értéke minimálisan változott, nem figyelhetők meg kilengések és szélsőséges, dinamikus változások. Ellenben a forgóeszközök értéke 2016-ról 2017-re majdnem háromszorosára emelkedett, túllépte a 1,5 ezer milliárd forintot. Ennek ellenére az eszközök összetételét legnagyobb részben továbbra is a befektetett eszközök teszik ki.

3. ábra: Top 10 cég eszköz összetétele 2011-2019

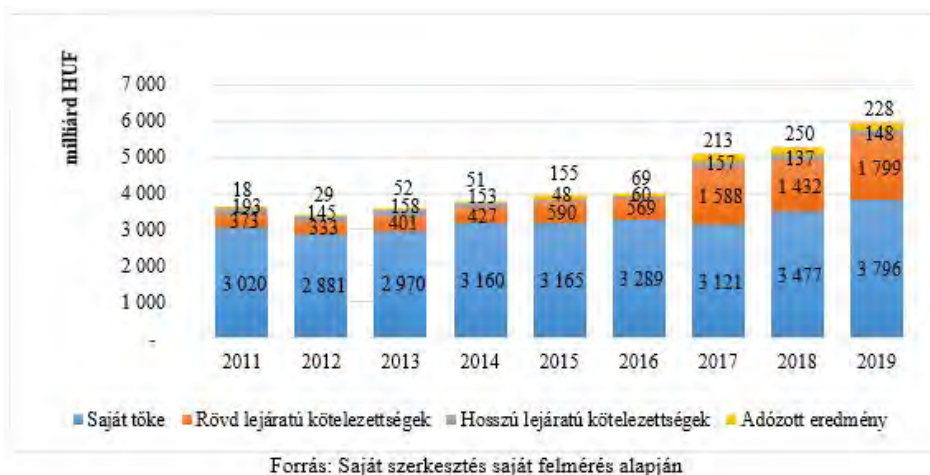
Figure 3 Structure of assets of top 10 companies 2011-2019



Mindemellett a vállalatok forrás összetétele is változott. Az alábbi ábrán láthatjuk, hogy az általunk kiemelt vállalatok esetében jelentős a saját tőke mennyisége, amely a legtöbb kötelezettségre fedezetet nyújt. Továbbá megfigyelhető az is, hogy a rövid lejáratú kötelezettségek 2016-tól intenzíven növekedtek. 2011-től 2019-ig több mint négyszeresére nőtt az értékük, közel 1.800 milliárd forintot tett ki 2019-ben. Mindennek ellenére a hosszú lejáratú kötelezettségek értéke jelentősen magasabb, még 2019-ben is több, mint kétszeresét kitették a rövid lejáratú kötelezettségeknek.

4. ábra: Top 10 cég forrás összetétele 2011-2019

Figure 4: Structure of liabilities and equity of top 10 companies 2011-2019

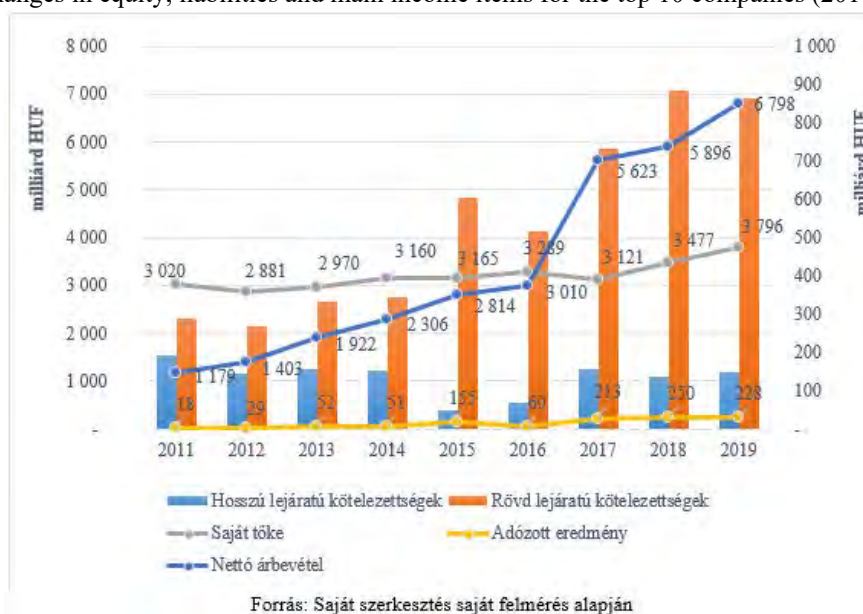


Ha megfigyeljük a saját tőke, a kötelezettségek és a fő jövedelemtétel változását ábrázoló kombinált diagramot akkor látható 2016-2017 között az értékesítés nettó árbevételének dinamikus növekedése. Ezt a jelenséget a PWC (2018) kutatásai is kiemelték. 2017 a növekedés éve volt az autóiipari cégek számára Magyarországon. A vállalkozások negyede két számjegyű bevétel növekedést jegyzett be és javarészüket 80% feletti kapacitáskihasználtságról számolt be az említett időszakban. Valamint megfigyelhető az is, hogy a rövid lejáratú kötelezettségek is ugrásszerűen nőttek ebben az időszakban, és a forgóeszközök úgyszintén. A növekedéshez legnagyobb mértékben a hazai, gyártótevékenységet végző nagyvállalatok járultak hozzá. Szerencsére, még ha kisebb ütemben is, de a pozitív, növekvő hullám 2019ig is eltartott.

Mindez arra enged következtetni, hogy a zömében külföldi nagyvállalatok gazdaságosan, magas profitot termelve működnek és a magyar autóiipar meghatározó résztvevői. Emellett alátámasztja a korábban említett megállapításunkat mi szerint az autóiipar erősen koncentrált, valamint a központot a kiemelt vállalatok jelentik a legtöbb esetben.

5. ábra: A saját tőke, a kötelezettségek és a fő jövedelemtétel változása a top 10 cég vonatkozásában (2011-2019)

Figure 5 Changes in equity, liabilities and main income items for the top 10 companies (2011-2019)

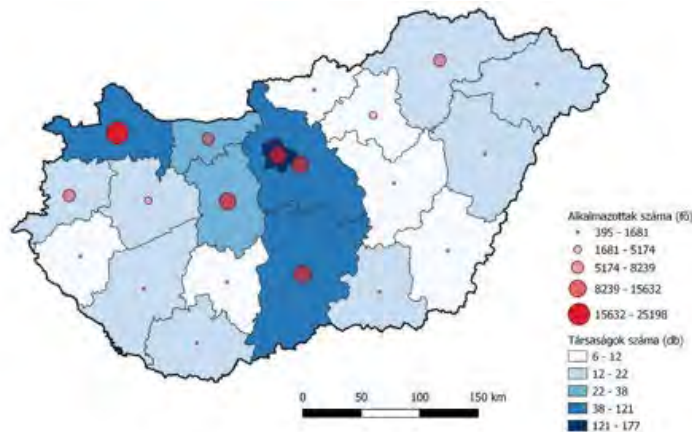


Megyék közötti összehasonlítás

Az első térképen a vállalatok és az alkalmazottak számának megyénkénti eloszlása látható 2019-es adatok alapján. A megyék színe a társaságok megoszlását, a piros körök pedig az ott alkalmazottak számát jelölik. A cégek száma Pest megyében, azon belül is Budapesten a legmagasabb, mivel 177 cég székhelye van bejegyezve a városba. Annak ellenére, hogy a legtöbb társaság a fővárosban található, az alkalmazottak száma Győr-Moson-Sopron megyében a legnagyobb, ami 25 198 főt jelent.

6. ábra: Cégek és alkalmazottak számának megoszlása (2019)

Figure 6 Distribution of companies and number of employees (2019)

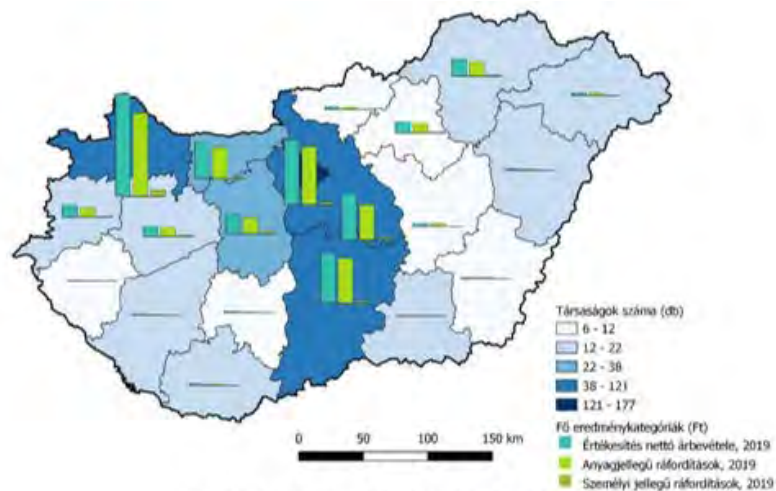


Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

Az alábbi térképen a fő eredménykategóriák megoszlása látható megyénként. Az oszlopok 2019-es adatok alapján jelölik az értékesítés nettó árbevétele, anyagjellegű ráfordítások és a személyi jellegű ráfordítások nagyságát. Az értékek mindegyike Győr-Moson-Sopron megyében a legmagasabb, ahol az árbevétel meghaladja a 3000 milliárd forintot. Ebben a régióban az anyagjellegű ráfordítások értéke 2830,2 milliárd forint, a személyi jellegű ráfordítások értéke pedig 225,2 milliárd forint. Az eredménykategóriák szerinti megoszlásban a top 5 megye közé sorolható Budapest, Bács-Kiskun, Pest és Komárom-Esztergom megye.

7. ábra: Cégek és fő eredménykategóriák megoszlása (2019)

Figure 7 Distribution of companies and main result categories (2019)

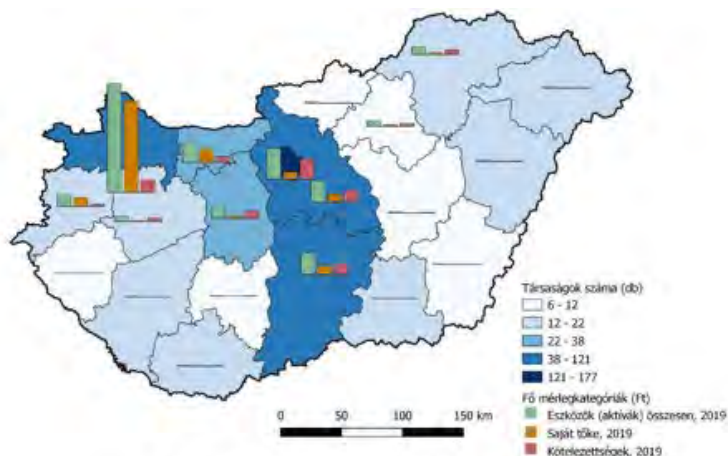


Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

A nyolcadik ábra a cégek és a fő mérlegkategóriák megoszlását mutatja be megyénként. A diagramok 2019-es adatok alapján jelölik az összes eszköz, a saját tőke és a kötelezettségek megoszlását. Az előző térképekhez hasonlóan, itt is ugyanaz az 5 megye a domináns. A legnagyobb értékek a következők szerint alakultak: eszközök összesen 3915,1 milliárd forint, saját tőke: 3281,9 milliárd forint, kötelezettségek: 463,4 milliárd forint. A térképről is egyértelműen látható, hogy Győr-Moson-Sopron megye esetében alakultak a leginkább kedvezően ezek a kategóriák.

8. ábra: Cégek és fő mérlegkategóriák megoszlása (2019)

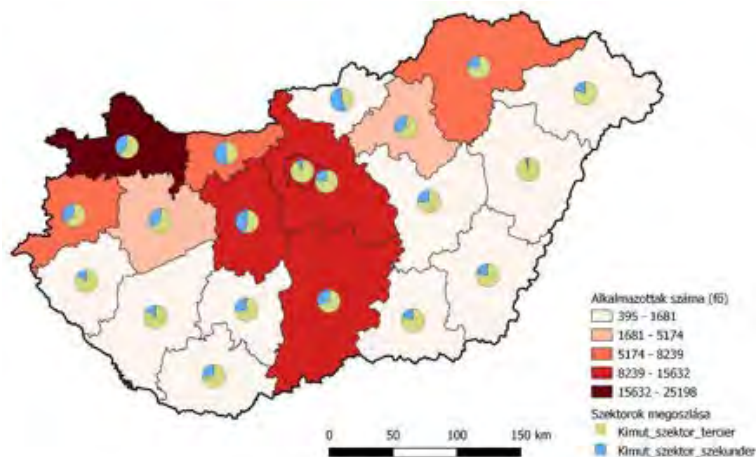
Table 8 Distribution of companies and main balance sheet categories (2019)



Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

9. ábra: Vállalkozások alkalmazotti számai és ágazati megoszlása (2019)

Table 9 Number of employees and sectoral breakdown of enterprises (2019)



Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

Az kilencedik ábrán a megyék színezése, az előzőektől eltérően, az alkalmazottak eloszlását jelölik. A kördiagramok a szekunder és terciér szektorok megoszlását szemléltetik. A fővárosban leginkább a terciér szektorba tartozó cégek helyezkednek el, míg ezeknek az aránya sokkal kisebb Győr-Moson-Sopron megyében. Azokban a megyékben, ahol leginkább gyártó cégek találhatóak, magas a szekunder szektorba sorolható társaságok aránya. Ez a megoszlás látható Komárom-Esztergom megye esetében.

Összegzés

A vizsgált időszakban Magyarországra dinamikus növekedés volt jellemző, ahol az autóiipar jelentős szerepet ért el az ország gazdaságában. Az eredmények alapján arra következtetünk, hogy az autóiipari szereplők közötti koncentráció a korábbi tendenciát folytató növekedése várható. Az harmadik táblázat adatai alapján a koncentrálódás egyre inkább növekszik a top 10 vállalat körül, ami az iparra nézve veszélyes lehet. A vizsgált időszakban a legfrissebb adatok 2019-esek voltak, ami azt jelenti, hogy a Covid-19 járvány még nem befolyásolta az eredményeinket. Az Oxford Economics jelentése szerint 2020 második negyedében 49,7%-os volt a termelés visszaesése a járvány hatására (Oxford Economics, 2021). Ennek következtében a kutatásunk következő lépéseként a 2020-as beszámolókat elemeztük ki, annak érdekében, hogy feltérképezzük a Covid-19 hogyan befolyásolta az autóiipart a pénzügyi beszámolóadatok alapján, és milyen változások következtek be a járvány hatására a koncentrációban.

3. táblázat: Top 10 vállalkozás koncentrációjának alakulása a teljes autóiiparból (2011-2019)

Table 3 Concentration of the top 10 companies in the total car industry (2011-2019)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nettó árbevétel	44,3%	44,5%	47,1%	47,8%	47,6%	45,6%	52,9%	50,9%	51,7%
Adózott eredmény	85,5%	72,0%	74,1%	58,0%	70,9%	49,6%	69,0%	86,1%	91,1%
Saját tőke	88,8%	86,9%	86,5%	85,5%	84,1%	81,1%	78,6%	79,5%	80,5%
Kötelezettségek	48,0%	45,2%	43,7%	41,5%	42,6%	37,4%	37,5%	36,7%	34,4%

Forrás: Saját szerkesztés saját felmérés alapján

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül a „Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Bartodziej, C.J. (2017) The Concept Industry 4.0. An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics. Berlin, Springer Gabler
- CEC (1996) First Report on Economic and Social Cohesion. EC, Brussels
- Chikán, A. (2008) Vállalatgazdaságtan. AULA Kiadó, Budapest
- Hermann, M. – Pentek, T. – Otto, B. (2015) Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Working Paper. 1. Dortmund, Technische Universität. Available at https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review
- Lengyel, I. (2010). Regionális gazdaságfejlesztés. Versenyképesség, klaszterek és alulról szerveződő stratégiák. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Molnár, E. – Kozma, G. – Mészáros, M. – Kiss, É. (2020). Upgrading and the geography of the Hungarian automotive industry in the context of the fourth industrial revolution. Hungarian Geographical Bulletin, 69(2), pp. 137–155.
- Murray, M.N. – Dowell, P. – Mayes, D.T. (1999) The Location Decision of Automotive Suppliers in Tennessee and the Southeast. Center for Business and Economic Research College of Business Administration, University of Tennessee, Research paper
- Nick, G. A. – Várgedő, T. – Nagy, C. – Szaller, Á. (2019). The territorial contexts of industry 4.0 in Hungary, the present and future challenges and expectations of the digital ecosystem. Deturope: Central European Journal Of Tourism And Regional Development, 11(3), pp. 29–58.
- OECD (1997). Regional Competitiveness and Skills. Paris
- OECD (1998). The Competitiveness of Transition Economies. Paris
- Oxford Economics (2021). Global | Auto output to recover pre-covid levels by mid-2021, <https://blog.oxfordeconomics.com/content/global-auto-output-to-recover-pre-covid-levels-by-mid-2021>. Letöltve: 2021.06.03.
- PWC (2018). Magyarországi Autóipari Beszállítói Felmérés 2018, https://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/automotive_survey_2018.pdf. Letöltve: 2021.06.03.
- Rechnitzer J. – Edelényi B. – Németh K. – Smahó M. (2003a) Új típusú telepítési tényezők és a gazdasági szereplők térpreferenciái az ezredfordulón. MTA RKK NYUTI, Győr. (NYUTI közlemények 152/b), 99.o.
- Rechnitzer J. – Edelényi B. – Németh K. – Smahó M. (2003b) Új típusú telepítési tényezők és a gazdasági szereplők térpreferenciái az ezredfordulón. MTA RKK NYUTI, Győr. (NYUTI közlemények 152/b)
- Smahó – J. R. M. (2013). Economic Effects Of The Vehicle And Automotive Industry In The Regions Of Central And Eastern Europe And Hungary. Vehicle Industry and Competitiveness of Regions in Central and Eastern Europe, 7.

From Production Crisis to Market Restructuring in the Automotive Industry

Tóth Árpád^a, Suta Alex^a, Vig Sára Gerda^a, Kelemen Kitti^a,

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

Absztrakt: A tanulmány akadémiai áttekintést ad a globális és európai autópiacon 2019 és 2021 közötti átalakulásáról, kiemelve a szerkezeti változásokat és a verseny újrendeződését. Részletes pénzügyi adatok, termelési mutatók és piaci jelentések alapján vizsgáljuk, hogy a világ vezető járműgyártói hogyan birkóztak meg példátlan válságokkal, mint a COVID-19 és a chiphiány, miközben szembe kellett nézniük az elektrifikáció és a változó fogyasztói kereslet hosszú távú kihívásaival. Az eredmények azt mutatják, hogy míg az európai gyártók a SUV-okra és prémium szegmensekre támaszkodva próbálták fenntartani jövedelmezőségüket, az ázsiai versenytársak szerkezeti előnyeikre építve – különösen az elektrifikáció, a piacra jutás és a nyersanyag-ellátás terén – jelentősen növelték piaci részesedésüket. A tanulmány arra a következtetésre jut, hogy az európai OEM-eknek sürgősen át kell alakítaniuk gyártási struktúráikat, különben hagyományos piacaikon háttérbe szorulhatnak.

Kulcsszavak: Autóipar, Piaci átrendeződés, OEM, Elektrifikáció, Ázsia, Jövedelmezőség

Abstract: This study provides an academic outlook on the transformation of the global and European automotive markets between 2019 and 2021, with a strong emphasis on structural shifts and competitive realignments. Using detailed financial data, production figures, and market reports, we analyze how global Original Equipment Manufacturers (OEMs) navigated unprecedented crises such as the COVID-19 pandemic and chip shortages, while also confronting long-term challenges like electrification and changing consumer demand. The findings highlight that while European OEMs attempted to maintain profitability through SUVs and premium segments, Asian manufacturers increasingly capitalized on structural advantages, particularly in the field of electrification, market access, and raw material control. The paper concludes that European OEMs face an urgent need to adapt their production structures, otherwise they risk being outcompeted in their traditional markets.

Keywords: Automotive industry, Market restructuring, OEM, Electrification, Asia, Profitability

Introduction

The automotive industry remains one of the most complex and globally integrated sectors of the world economy. With supply chains stretching across continents and technological innovation driving constant transformation, the industry is highly susceptible to macroeconomic shifts, crises, and long-term consumer trends. Between 2019 and 2021, this vulnerability became visible as the industry faced a perfect storm: the COVID-19 pandemic, semiconductor shortages, and accelerating requirements for electrification and sustainability. The European market, in particular, entered a restructuring phase characterized by changing consumer demand, reduced competitiveness of traditional OEMs, and the growing presence of Asian manufacturers. This paper provides an integrated outlook on these developments by combining quantitative analysis with structural insights.

Literature Review

Academic and industry research has long emphasized the cyclical nature of the automotive industry (Scotiabank, 2020). Statistical studies (Statista, 2021) show how demand fluctuates in response to economic cycles, while analysts highlight the importance of product mix and consumer trends in shaping profitability (JATO, 2020). In recent years, electrification has been identified as the key structural driver (Bloomberg, 2021), not only for environmental reasons but also as a competitive necessity. Asian OEMs, particularly Chinese firms, have leveraged their control over critical raw materials and their ability to scale quickly to challenge the dominance of European firms (JATO, 2021). These findings set the foundation for our own empirical analysis of 2019–2021.

Methodology

The methodology of this study relies on both primary data from OEM financial reports and secondary sources such as Statista, Bloomberg, and JATO. We focus on the five largest global OEMs (Ford, General Motors, Volkswagen, Toyota, Daimler), analyzing quarterly revenues, operating income, and sales volumes between 2019 and 2021. Currency effects were normalized using quarterly average exchange rates (Yen/EUR and USD/EUR), shown in Figure 1. Market statistics were contextualized with forecasts and structural indicators of consumer demand. Figures 2–6 represent own elaboration based on collected OEM data, while Figures 7–10 integrate externally sourced data to situate the findings within a global perspective.

Quarterly average	Conversion rates	
	Yen/EUR	USD/EUR
2019Q1	0,00799	0,88024
2019Q2	0,00810	0,88997
2019Q3	0,00838	0,89911
2019Q4	0,00831	0,90353
2020Q1	0,00833	0,90673
2020Q2	0,00845	0,90845
2020Q3	0,00807	0,85609
2020Q4	0,00803	0,83898
2021Q1	0,00783	0,82977
2021Q2	0,00758	0,82944
2021Q3	0,00770	0,84809

Figure 1: Quarterly average conversion rates (Yen/EUR, USD/EUR). Own elaboration.

Results and Discussion

The revenue performance of leading OEMs highlights the impact of the COVID-19 pandemic and its aftermath. As shown in Figure 2, Volkswagen consistently maintained the highest revenues, but experienced significant volatility during the pandemic years. Toyota demonstrated remarkable stability and resilience, whereas Ford and General Motors were more severely affected by fluctuations in demand and production halts. Daimler's revenues reflected its reliance on premium segments, which proved more resilient to crisis conditions.

Comparison of Net sales revenues (EUR million)

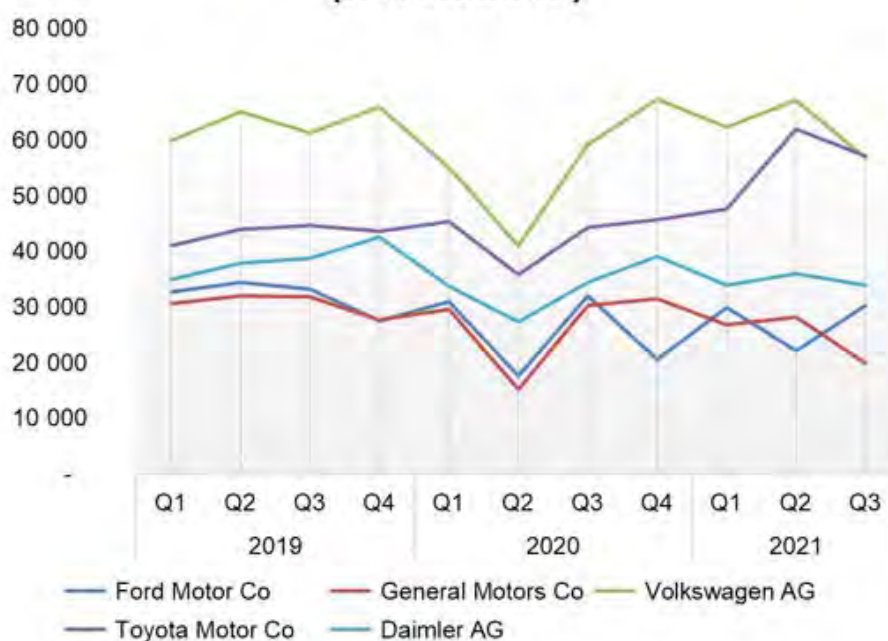


Figure 2: Comparison of net sales revenues (EUR million), 2019–2021. Own elaboration.

Market share distributions of revenue (Figure 3) further illustrate the consolidation of positions among leading OEMs. Volkswagen and Toyota maintained significant portions of the market, whereas Ford and GM gradually lost ground. The stability of Toyota is particularly noteworthy, indicating strong strategic adaptability during crises.

Relative proportion of Net sales revenues

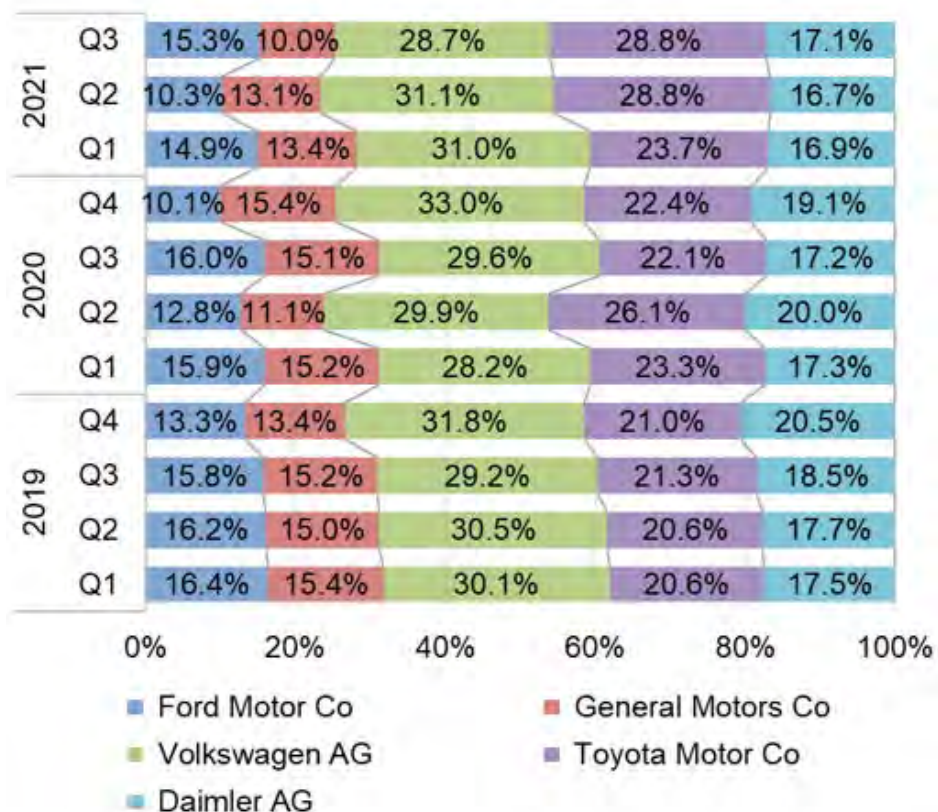


Figure 3: Relative proportion of revenues by OEM (%), 2019–2021. Own elaboration.

Operating income trends (Figure 4) reveal deeper insights into profitability strategies. Volkswagen and Toyota managed to recover quickly after the severe decline in Q2 2020, while Ford and GM continued to struggle with volatile results. Daimler's performance demonstrates the resilience of premium manufacturers, underlining the profitability of luxury segments.

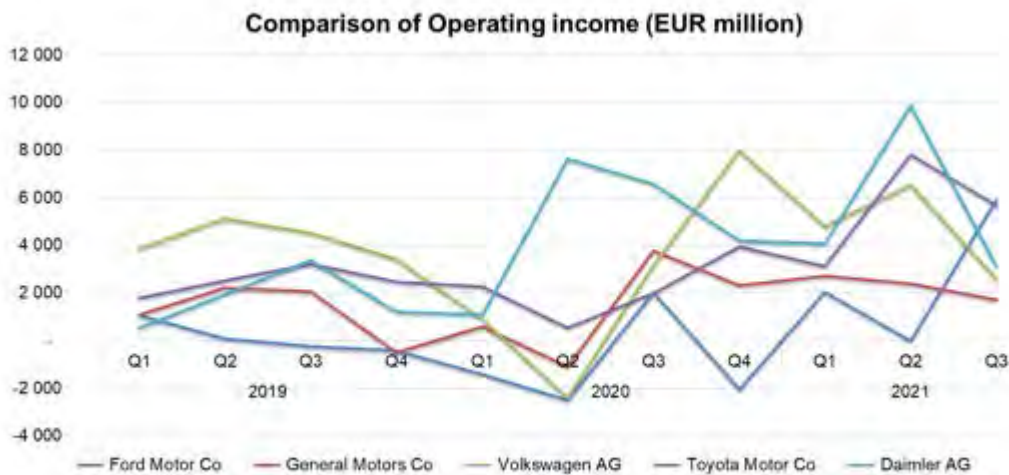


Figure 4: Comparison of operating income (EUR million), 2019–2021. Own elaboration.

Sales volumes (Figure 5) show the dramatic decline in Q2 2020, reflecting factory closures and collapsing consumer demand. Toyota recovered more rapidly than its American counterparts, while Volkswagen demonstrated stable volumes across the observation period. Daimler's volumes, though smaller in absolute numbers, remained steady due to its strong premium focus.

Comparison of Sales volumes (units)



Figure 5: Comparison of sales volumes (units), 2019–2021. Own elaboration.

Relative proportions of sales volumes (Figure 6) show how Toyota and Volkswagen increased their shares during recovery, while Ford and GM faced long-term declines. This suggests that structural competitiveness is shifting towards companies better positioned in electrification and global markets.

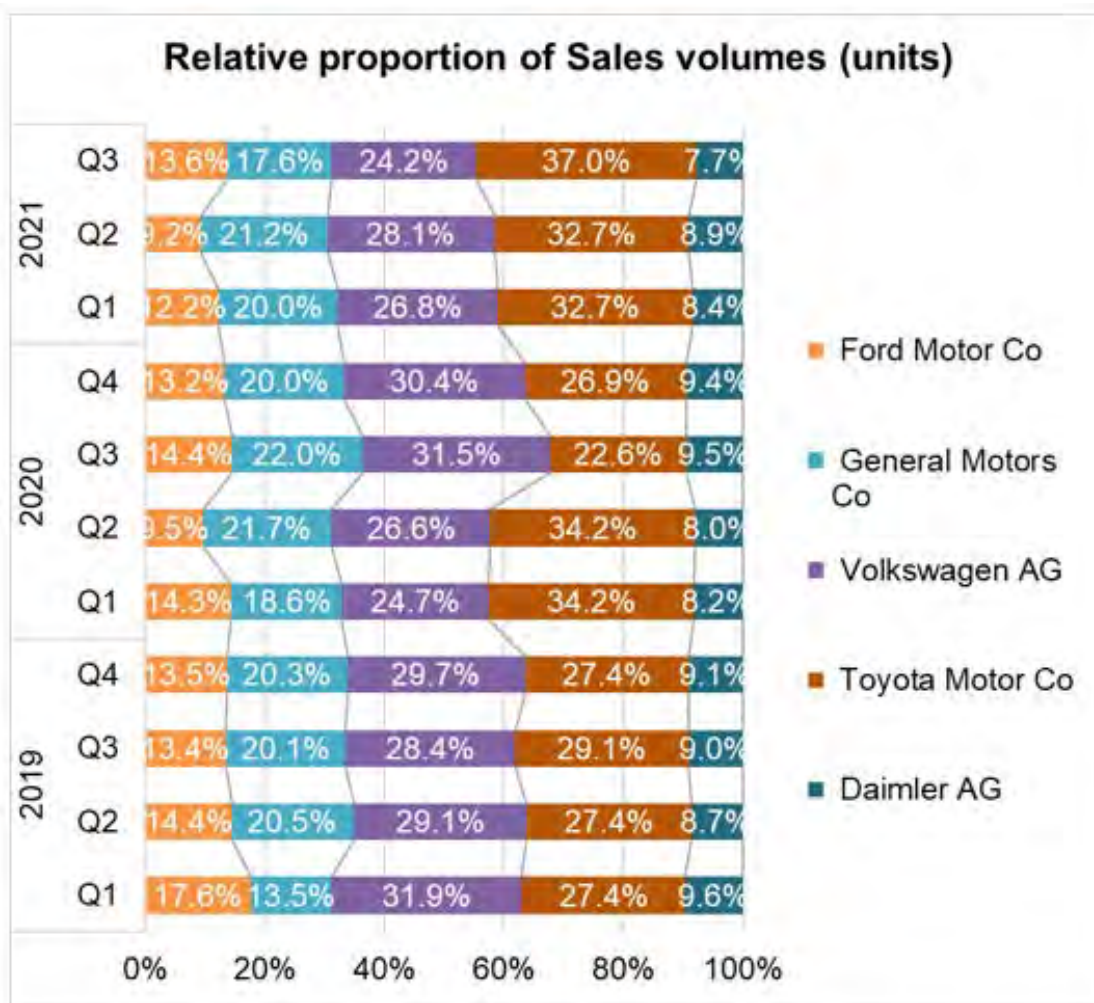


Figure 6: Relative proportion of sales volumes (%), 2019–2021. Own elaboration.

Global car registration trends (Figure 7) confirm the centrality of Asia in the automotive market. With over 30 million annual registrations, Asia outpaces North America and Europe combined. The forecasts for 2021–2022 show Asia’s dominance strengthening, driven primarily by China. This highlights the increasing difficulty for European manufacturers to remain globally competitive without deeper integration into Asian supply chains.

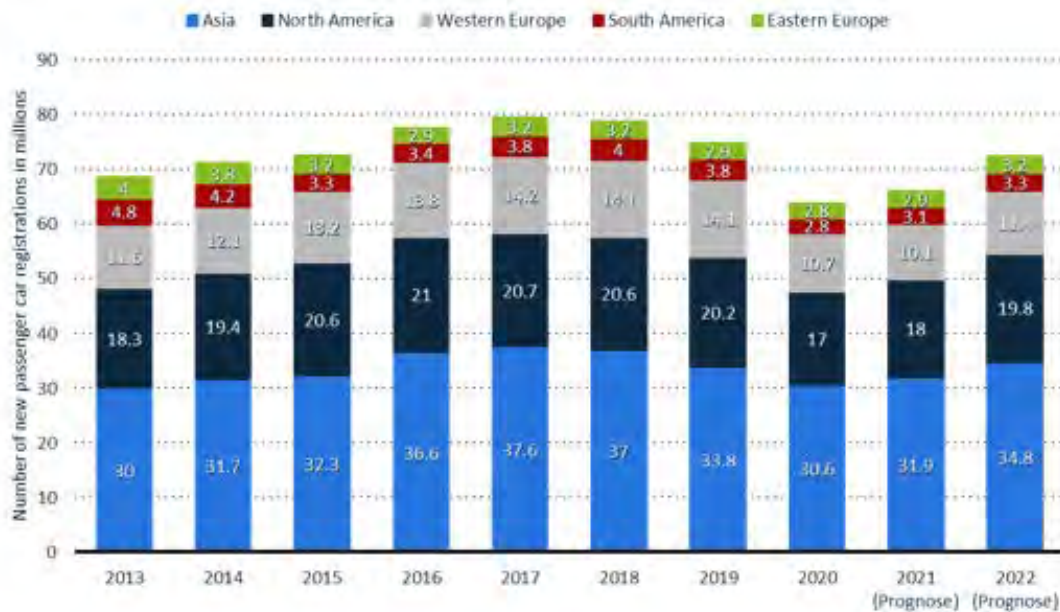


Figure 7: New passenger car registrations worldwide by region until 2022. Source: Statista, Scotiabank, Bloomberg (2020).

Consumer demand in Europe has fundamentally shifted, as illustrated by Figure 8. SUVs rose from less than 5% of registrations in 2000 to 40% in 2020, displacing hatchbacks, sedans, and MPVs. This structural change reflects OEMs' focus on high-margin vehicles, but also presents challenges in adapting production structures to consumer preferences.

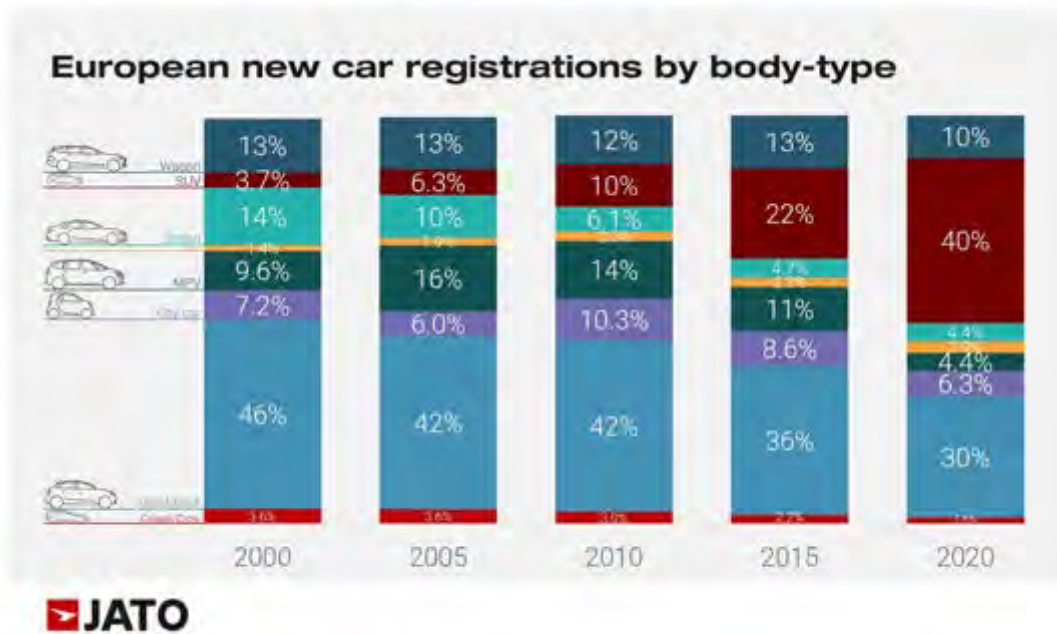


Figure 8: European new car registrations by body type, 2000–2020. Source: JATO (2020).

Market shares by OEM groups (Figure 9) emphasize the declining dominance of the six mainstream European OEMs, whose combined market share fell from 75% in the 1990s to 62% in 2020. Meanwhile, Asian OEMs expanded to 19% and premium European OEMs stabilized at 17%. This signals a clear structural realignment of the European market.

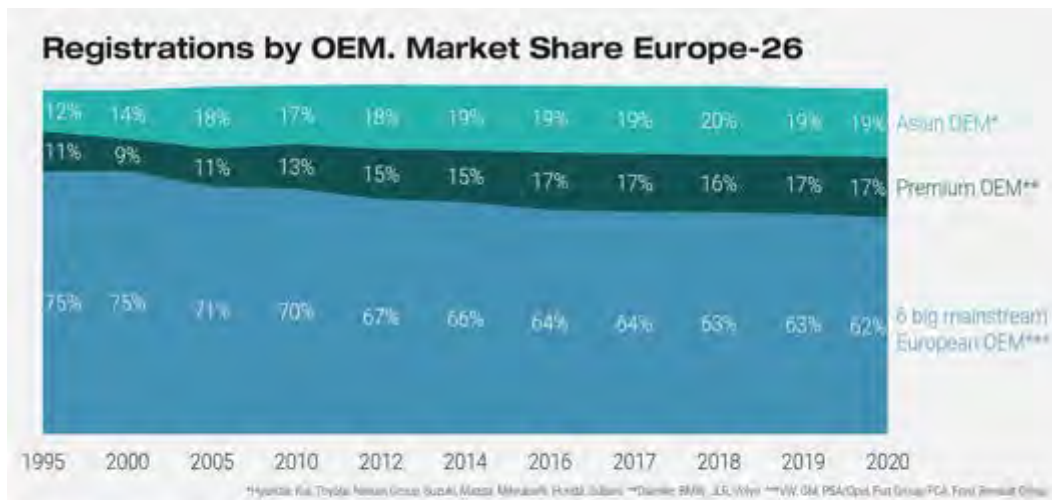


Figure 9: Registrations by OEM, market share in Europe-26. Source: JATO (2020).

Finally, Figure 10 illustrates the rapid entry of Chinese manufacturers into the European market. By 2021, MG (SAIC Group) had become the largest Chinese brand exporting to Europe, supported by models such as the MG ZS and MG HS. Polestar, Volvo’s electric brand, and others like Maxus and Lynk & Co represent diverse strategies including acquisitions, rebranding, and EV specialization. These approaches indicate that Chinese firms are no longer peripheral actors but central competitors.

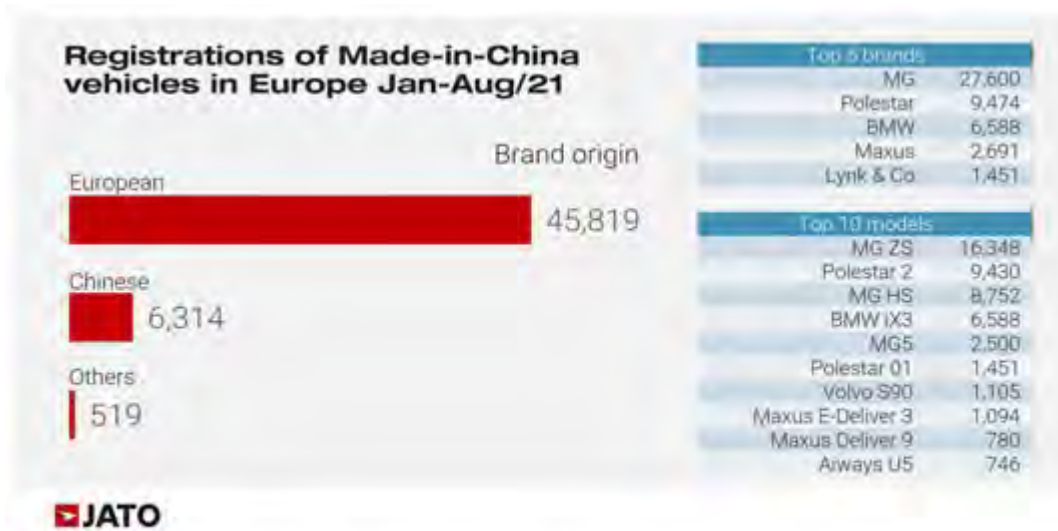


Figure 10: Registrations of Made-in-China vehicles in Europe, Jan–Aug 2021. Source: JATO (2021).

Conclusions

The analysis shows that the automotive industry has entered a new phase of structural transformation. European OEMs, long dominant in their home markets, face eroding competitiveness due to crises, shifting consumer demand, and the rapid rise of Asian OEMs. Electrification and sustainability will be decisive factors shaping future competition. Asian firms, particularly Chinese OEMs, are expanding not only with competitive products but also through control of supply chains and innovative market entry strategies. If European firms fail to adapt swiftly, they risk long-term decline even in markets where they historically held dominance.

Acknowledgement

The research presented in this paper was funded by the Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001) project in the framework of the New Széchenyi Plan.

References

- Bloomberg. (2021). Global automotive electrification trends. BloombergNEF.
- JATO. (2020). Are OEMs selling more SUVs, but are they selling more vehicles? JATO Dynamics. www.jato.com
- JATO. (2021). Chinese manufacturers set to become a dominant industry force. JATO Dynamics. www.jato.com
- Scotiabank. (2020). Global auto report. Scotiabank Economics.
- Statista. (2021). Number of new passenger car registrations worldwide by region until 2022. Statista. www.statista.com

