

AUTONÓM JÁRMŰVEK
Intelligens közlekedési
rendszerek a fenntarthatóságért
Konferenciakiadvány 2020

AUTONÓM JÁRMŰVEK
Intelligens közlekedési rendszerek
a fenntarthatóságért

Konferenciakiadvány 2020

Lektorok:

Dr. Czinege Imre, Dr. Lakatos István,
Dr. Szauter Ferenc, Dr. Varga Zoltán

Szerkesztette:

Dr. Szauter Ferenc

Széchenyi István Egyetem
2021

ISBN 978-615-5837-80-7

TARTALOMJEGYZÉK

Kapszula alapú mesterséges neurális hálózatok vizsgálata az önvezető járművek tekintetében <i>Hollósi János</i>	7
Szenzor platform tervezése önvezető kísérleti jármű számára <i>Pusztai Zoltán, Kőrös Péter, Gulyás Péter</i>	15
Műholdas navigációs eszköz fejlesztése önvezető járművekhez <i>Somogyi Huba</i>	21
Az új technológiák szerepe és lehetőségei a ZalaZONE Science Park környezetében <i>Háry András, Tóth Csilla</i>	29
Kormányzáskor ébredő visszatérítő nyomatékok modellezése alacsony sebességeknél <i>Istenes György, Polák József</i>	39
Hibrid A* használata elosztott környezetrepresentációban <i>Hajdu Csaba, Ballagi Áron</i>	44
Trajektória tervezése ROS rendszerbe integrálva autonóm jármű parkolási feladatához <i>Ignéczi Gergő Ferenc</i>	52
Autonóm járműfunkciók megvalósítására alkalmas tesztjármű LGSVL szimulációja <i>Krechl Rudolf, Unger Miklós, Horváth Ernő</i>	69
Környezetérzékelés közös gerinchálózattal rendelkező neurális hálózategyüttes segítségével <i>Markó Norbert, Hollósi János</i>	75
Alacsony nyugalmi áramú DC/DC konverter tervezése akkumulátor felügyeleti rendszerhez <i>Gulyás Péter, Szeli Zoltán</i>	81
Nagyhatásfokú DCDC konverter szimulációja és hardveres megvalósítása <i>Kecskeméti István, Gulyás Péter, Miklós Máté</i>	87
A lítium polimer akkumulátorok alakváltozás mérése digitális képkorrelációs eljárás segítségével <i>Kocsis Szürke Szabolcs, Dineva Adrien, Szalai Szabolcs, Lakatos István</i>	92
Kettős impulzusos tesztkörnyezet kialakítása teljesítmény félvezetők kapcsolási jellemzőinek vizsgálatához <i>Szakállas Gábor</i>	100
Nagyteljesítményű, alacsony feszültségű motormeghajtó inverter fejlesztése <i>Szeli Zoltán</i>	109

Angol nyelvű közlemények / English language papers

COVID-19 and the Passenger Car Industry: Forecasts and Analyses <i>Balázs Gönczy</i>	119
XBRL Reporting Application and Status <i>Alex Suta, Árpád Tóth</i>	126
Sustainability and the International Financial Reporting Standards the Missing Link <i>Árpád Tóth, Ferenc Szauter</i>	132
Changes of the maritime carrier's liability <i>Viktoria Hatwagner-Kovács</i>	140

Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában

EFOP-3.6.2-16-2017-00016

Konzorcium:

Széchenyi István Egyetem

Dunaújvárosi Egyetem

Neumann János Egyetem

Óbudai Egyetem

A támogatási összege:

1,448 MILLIÁRD FORINT

A projekt időtartama: 2017.06.01. - 2020.12.29.

A projekt megvalósításával a konzorciumi partnerek hosszú távú célja az, hogy közös erővel tudjanak aktívabb és kezdeményezőbb szerepet vállalni a tudásalapú gazdaság kiépítésében és a magyar felsőoktatás kutatás-fejlesztési potenciáljának erősítésében. A kialakított új tudásbázisok alapján kezdeményezik a nemzetközi hálózatokba való bekapcsolódást és együttműködést. Rövidtávon elérhető célnak tekintik, hogy hálózatos formában együttműködnek, a kapacitásokat összehangolva közös kutatói teameket hoznak létre, melyek szinergikus hatása sokszorosa lehet a jelenleg egyénileg működő intézményi potenciáloknak. A kutatások konkrét célja az, hogy a partner intézmények jelentős eredményeket érjenek el az autonóm járművek és járműrendszerek irányításában és kommunikációjában.

A projekt stratégiai környezetének kulcs eleme az elektromobilitás, melynek terjedése folyamán a klasszikus értelemben vett járműgyártás új alapokra helyeződik. Ennek két fő része van, egyrészt a jármű hajtások fejlődése a hagyományos belsőégésű motoroktól az elektromos hajtáslánccok irányába, másrészt a vezetői funkciók fokozatos felváltása az autonóm járműirányítással, melynek végső célja a teljesen autonóm járművek megvalósítása és bevonása a mindennapi közlekedésbe.

A projekt 3 kutatási főirányhoz rendelve 5 alprojekt által megfogalmazott 13 feladatot tartalmaz. A kutatások az elektromos hajtáslánccok, valamint a járműirányítás új megoldásainak fejlesztésére irányulnak. Ezen kutatások súlypontjai közül első az autonóm járműtechnológiák igényeihez illeszkedő villamos hajtás fejlesztés és hajtás optimalizáció, speciális diagnosztikai és üzemeltetési feltételek elemzése, az autonóm navigációt végző járművek mozgás kölcsönhatásainak modellezése. A második fontos terület a villamos hajtások igényeit kiszolgáló új, innovatív anyagok és anyagszerkezetek kutatása, míg a harmadik főirány az ember-gép (járművezető-jármű) kapcsolati viszonyainak elemzésével, valamint a járművek és közlekedési rendszer által generált adatok feldolgozásával, értelmezésével és hasznosításával foglalkozik.

A projekt közvetlen célcsoportját alkotják a jelenlegi hallgatók, doktoranduszok és predoktorok; posztgraduálisok, oktatók, kutatók; kiemelten a fiatal kutatók és K+F munkatársak. Az alapkutatási jelleghez igazodóan az elsődleges célcsoport az akadémiai kutatószféra. Másodlagos célcsoport az intelligens közlekedési rendszerek technológiáinak fejlesztésével foglalkozó intézetek, fórumok és munkacsoportok (ETSI, ISO, CEN), továbbá a közlekedési rendszerek és úthálózatok, valamint a távközlési infrastruktúra üzemeltetői. Érintettek a középiskolások, leendő hallgatók, a hallgatók hozzátartozói, valamint a közvélemény, és az elektromobilitásba bekapcsolódó lakosság.

Kapszula alapú mesterséges neurális hálózatok vizsgálata az önvezető járművek tekintetében

Investigation of capsule-based artificial neural networks for autonomous vehicles

Hollósi János

Széchenyi István Egyetem

hollosi.janos@sze.hu

Absztrakt: Napjainkban a gépi látás területén a konvolúciós neurális hálózatok az egyik leghatékonyabb eszköztárnak bizonyulnak a különféle felismerési, osztályozási és szegmentálási feladatok során. A neurális hálózatok egyre nagyobb térhódításnak örvendenek, és a hétköznapi életben is megjelennek. Ugyanakkor olyan területeken is érezhetően magas a neurális hálózatok jelenléte, ahol különösen fontos az alkalmazott rendszer magas megbízhatósági foka. Jellemzően ide sorolhatóak az önvezető járművekkel kapcsolatos megvalósítások, ahol például a környezet detektálás során, és a döntési folyamatban kiemelten fontos a megbízhatóság a rendszer erősen biztonságkritikus mivolta miatt. Az elmúlt évek során számos tanulmány jelent meg, amik a konvolúciós neurális hálózatok sebezhetőségével és kialakításukból adódó problémák feltárásával foglalkoznak. Ide sorolható, hogy a konvolúciós neurális hálózatok nem alkalmasak térben realizálni a felismert objektumokat. Így előfordulhat, hogy egy objektumot bizonyos látószög esetén felismer, de amint az objektum akár kis mértékben változtatja a helyzetét, a felismerés hatékonysága nagyságrenddel csökkenhet. Ennek tudható be az is, hogy ha a bemeneti adaton akár minimális geometriai transzformációkat hajtunk végre, a hálózat hatékonysága szintén lecsökkenhet. Az ilyen és ehhez hasonló problémák kiküszöbölése végett alkották meg az úgynevezett kapszula hálózatok elméletét. A cikkben bemutatásra kerül a kapszula hálózatok elmélete, részletezésre kerül három különféle úgynevezett útválasztási algoritmus, illetve kapszula alapon működő hálózatok kifejtése és hatékonysági bemutatása történik meg.

Kulcsszavak: Neurális hálózatok, kapszula hálózatok, önvezető járművek, környezet érzékelés

Abstract: Nowadays, in the field of machine vision, convolutional neural networks are proving to be one of the most effective tools for various recognition, classification and segmentation tasks. Neural networks are gaining ground and appearing in everyday life. However, the presence of neural networks is also noticeably high in areas where a high degree of reliability of the applied system is particularly important. Typically, this includes implementations related to self-driving vehicles, where reliability is of paramount importance in environmental detection and decision-making because the system is highly safety-critical. In recent years, a number of studies have been published on the vulnerabilities of convolutional neural networks and the problems arising from their design. This includes the fact that convolutional neural networks are not suitable for the spatial realization of recognized objects. Thus, an object may be recognized at a certain angle of view, but as soon as the object changes its position even slightly, the recognition efficiency may decrease. This is also due to the fact that if even minimal geometric transformations are performed on the input data, the efficiency of the network can also be reduced. In order to eliminate such and similar problems, the theory of so-called capsule networks has been developed. The article presents the theory of capsule networks, details three different so-called routing algorithms, and explains and demonstrates the efficiency of capsule-based networks.

Keywords: Neural networks, capsule networks, autonomous vehicles, environment perception

1. Bevezetés

Vizuális adatok képtérben történő szegmentálása és osztályozása fontos terület a gépi látás és mesterséges intelligencia területein belül. Jelenleg a legnépszerűbb és leghatékonyabb megvalósítások valamilyen mesterséges neurális hálózatra épülnek. Az elmúlt évek legjobb neurális hálózat architektúrái közé sorolhatóak többek között a Krizhevsky és társai által készített AlexNet[1], a Szegedy és társai által készített GoogleNet[2], a Simonyan és Zisserman által készített VGG Net[3], a He és társai által készített ResNet[4] és a Huang és társai által készített DenseNet[5]. Ezeknek a hálózatoknak a hatékonysága kimagasló, ugyanakkor megfelelő adatkészlettel még az ilyen kiváló hálózatok is könnyen becsaphatóak, hatékonyságuk lecsökkenthető. Ide értendő például, hogy a neurális hálózatok nem képesek térben elhelyezni a megtanultakat. Ilyen módon előfordulhat, hogy egy objektum adott rálátás mellett magas megbízhatósággal felismerhető, de ha az objektum változtatja a helyzetét és így más betekintésből kell felismernie a hálózatnak, a hatékonyság lecsökkenhet. Geoffrey Hinton és kutatócsoportja[6, 7] a neurális hálózatok bizonyos problémáinak kiküszöbölése érdekében alkották meg az úgynevezett kapszula hálózatok elméletét, amely egyik fő célja, hogy a tanultakat térben jobban tudják realizálni, a hagyományos neurális hálózatokhoz képest. Jelen tanulmányban a kapszula hálózatok kerülnek ismertetésre, és úgynevezett virtuális tanítóminták segítségével vizsgálat alá kerülnek, ahol látni fogjuk, hogy kevésbé ideális minták esetén milyen hatékonysággal taníthatók kapszula alapú hálózatok közötti forgalomban előforduló objektumok detektálása esetén.

2. Kapszula hálózatok

A kapszula hálózatok 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 robosztusabb, 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

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

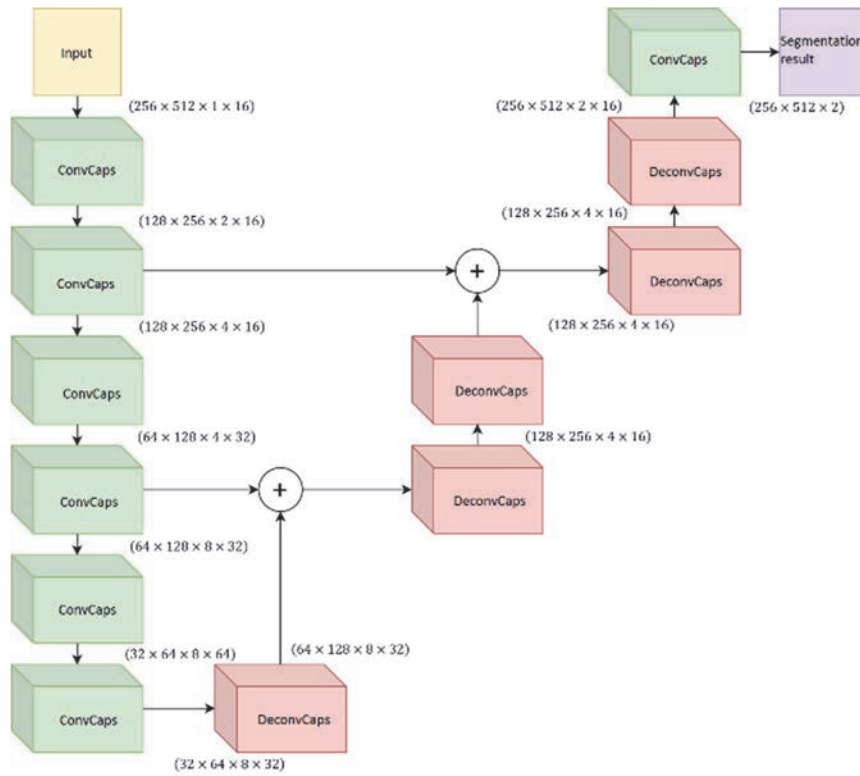
Kapszula hálózatok esetén az előrejelzés számszerűsítésére a kimeneti vektorok hosszát alkalmazzák. Ehhez az is szükséges, hogy a kapott vektorok hossza a $[0,1]$ intervallumba kerüljön. Ehhez az elmélet kidolgozói bevezették az úgynevezett squash függvényt, amit a következő módon számíthatunk

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

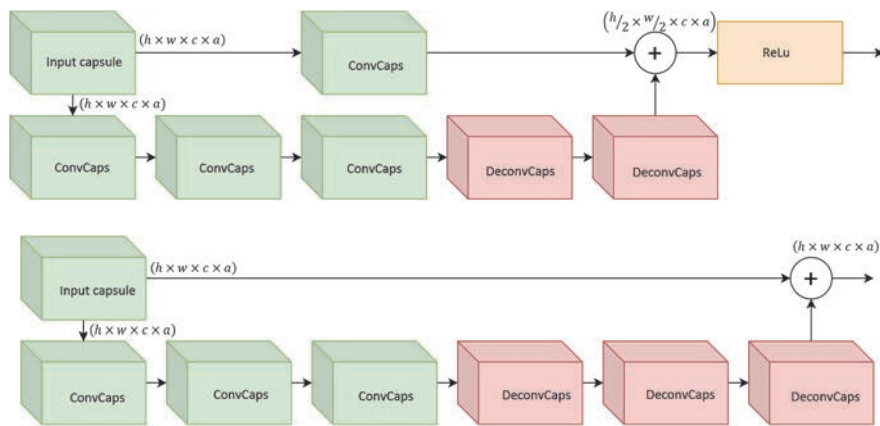
Az egymásra épülő kapszulák közötti információ áramlását a c súlyértékekkel lehet szabályozni. Ezeknek a számítása egy iteratív módon működő algoritmus segítségével történik. Ez az úgynevezett dinamikus útválasztás. A tanulmány során három különböző útválasztási algoritmus került felhasználásra. A kapszula alapú hálózatok mindhárom algoritmus esetén külön-külön lettek tanítva az alkalmazott adatkészletekkel. Az alkalmazott algoritmusokat az 1. táblázat összegzi.

3. Megvalósított kapszula hálózatok

Három eltérő felépítési kapszula alapú neurális hálózat került kialakításra a munka során. Az első megoldás a U-Net [8] architektúrán alapszik, a második megközelítésben úgynevezett pyramid pooling rétegek kerültek alkalmazásra a PSP Net-hez [9] hasonlóan, illetve az utolsó megvalósítás reziduális modulból tevődik össze a ResNet [4] hálózathoz hasonlóan.



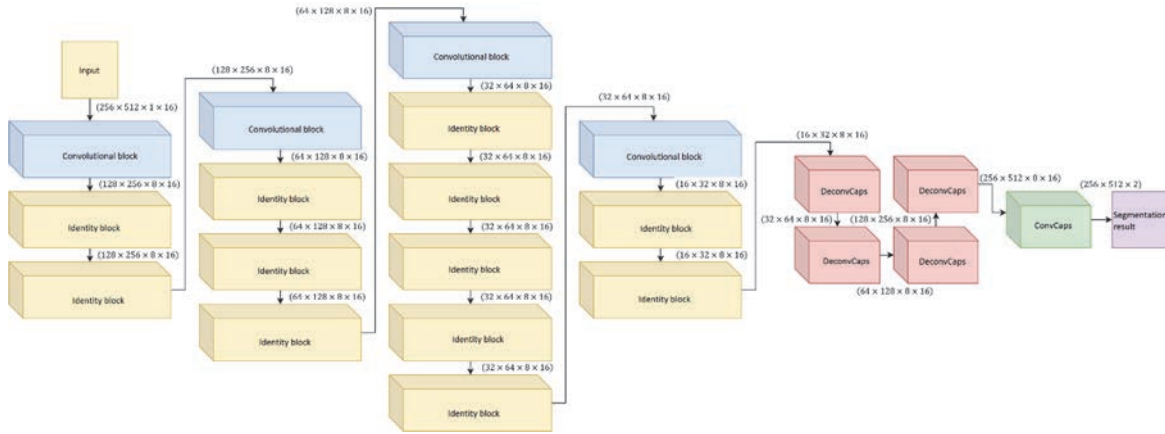
1. ábra U-Net felépítése



2. ábra Reziduális hálózat blokkjai

A U-Net [8] hálózati architektúra eredetileg orvosi képfeldolgozás céljából lett megalkotva. Alapja az úgynevezett Fully Convolutional Network (FCN), ahol a hálózat két fő komponensre tagolható: downsampling és upsampling blokkra. Az 1. ábra szemlélteti a megvalósított U-Net alapú kapszula hálózatot.

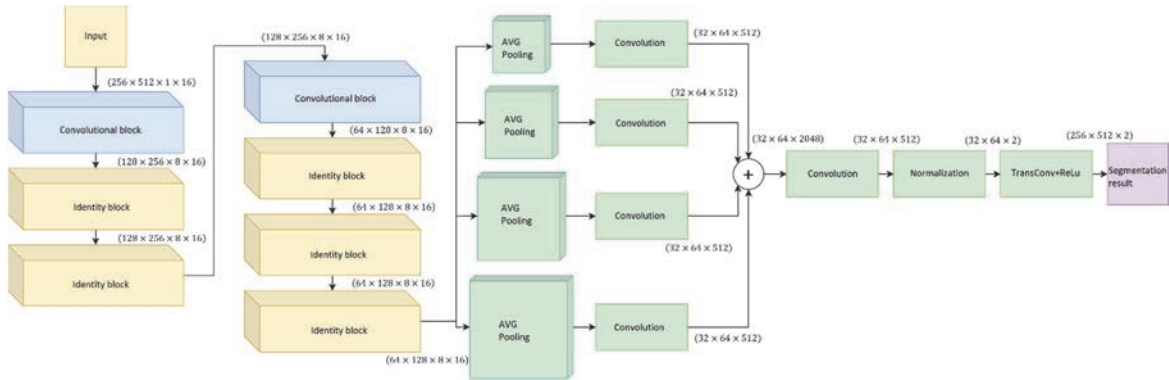
A He és társai [4] által bevezetett ResNet az egyik legjobb megoldásként bizonyult 2015-ben az ILSVRC (Imagenet Large Scale Visual Recognition Challenge) [12] versenyen. A ResNet fő komponense a reziduális blokk. A megvalósított hálózat két fajta reziduális blokkot tartalmaz, ezek a 2. ábra szemlélteti, ahol h a magasság, w a szélesség, c a kapszulák száma, és



3. ábra ResNet felépítése

a az atomok száma az egyes kapszulákban. A reziduális blokkokból felépülő ResNet-alapú kapszula hálózat látható az 3. ábrán.

A Zhao és társai [9] által kidolgozott PSP Net hálózati architektúra az egyik legjobb eredményt érte el 2016-ban az ImageNet [12] versenyén. Az elgondolás fő építő köve az úgynevezett pyramid pooling réteg, ahol a jellemzők különböző méreteken kerülnek egyesítésre. A megvalósításban 4 különböző méret került alkalmazásra a pyramid pooling rétegben. A hálózat eleje hasonló felépítésű a ResNet architektúrához. Az 4. ábra a PSP Net hálózat felépítését mutatja.



4. ábra PSP Net felépítése

4. Mérési eredmények

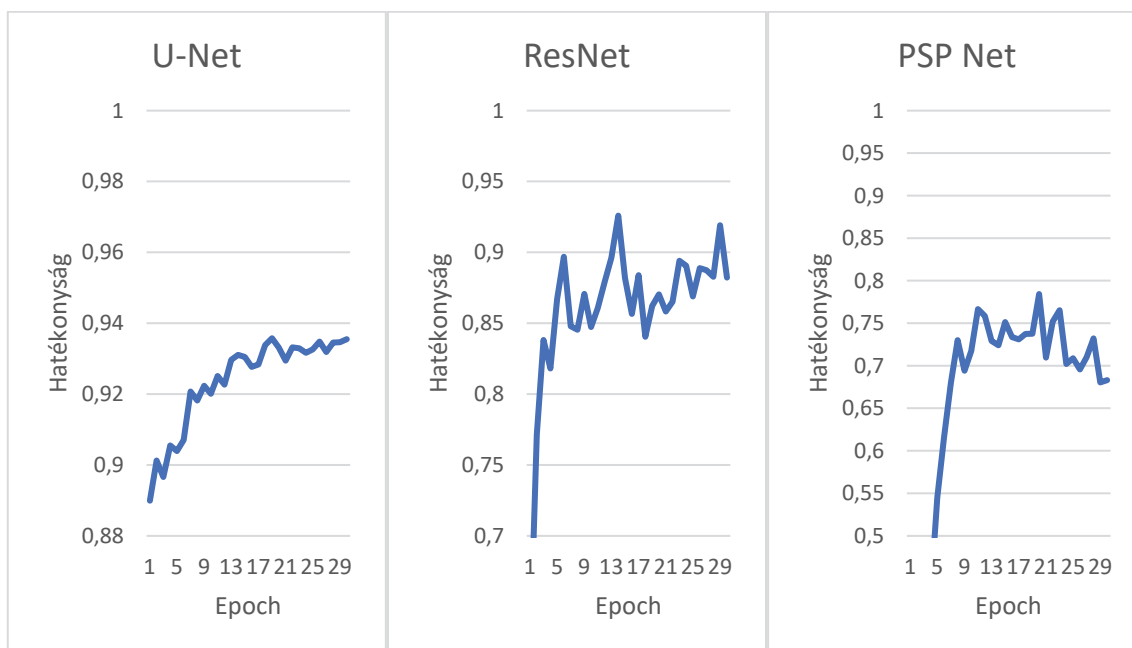
A munka során úgynevezett virtuális tanítókészlettel kerültek tanításra a kialakított kapszula alapú hálózatok. Ebben a tekintetben a tanítóminta számítógépes szimuláció segítségével generált képek felhasználásával került kialakításra. Azonban a hálózat hatékonyságának tesztelésére valós forgalmi szituációkban készült felvételek felhasználása történt meg. A kialakított adatkészlet 1572 virtuális tanítómintát és 131 valós tesztmintát tartalmaz. A tanítás során Adam optimalizáló algoritmus került felhasználásra, ahol a learning rate értéke 10^{-1} , és a learning decay értéke 2×10^{-1} . A hálózat hatékonyságának mérése a következő módon történt

1. táblázat Felhasznált útválasztási algoritmusok

Sabuer és társai[6]	<pre> procedure Routing($\hat{u}_{j i}$, r, l): for all capsule i in layer l and capsule j in layer $(l+1)$: $b_{ij} \leftarrow 0$ for r iterations do for all capsule i in layer l: $c_i \leftarrow \text{softmax}(b_i)$ for all capsule j in layer $(l+1)$: $s_j \leftarrow \sum_i c_{ij} \hat{u}_{i j}$ for all capsule j in layer $(l+1)$: $v_j \leftarrow \text{squash}(s_j)$ for all capsule i in layer l and capsule j in layer $(l+1)$: $b_{ij} \leftarrow b_{ij} + \hat{u}_{j i} v_j$ return v_j </pre>
Wang és Liu[10]	<pre> procedure Routing($\hat{u}_{j i}$, r, l): for r iterations do for all capsule i in layer l and capsule j in layer $(l+1)$: $b_{ij} \leftarrow \frac{1}{\alpha} \langle o_{j i}, s_j \rangle$ and $c_i \leftarrow \text{softmax}(b_i)$ for all capsule j in layer $(l+1)$: $\hat{s}_j \leftarrow \sum_i c_{ij} o_{j i}$ and $s_j \leftarrow \frac{\hat{s}_j}{\ \hat{s}_j\ }$ for all capsule j in layer $(l+1)$: $w_j = \frac{\ \sum_i c_{ij} o_{j i}\ }{1 + \max_k \ \sum_i c_{ij} o_{j i}\ }$ return $w_j s_j$ </pre>
Peer és társai[11]	<pre> procedure Routing($\hat{u}_{j i}$, r, l): for all capsule i in layer l and capsule j in layer $(l+1)$: $b_{ij} \leftarrow 0$ for r iterations do $c_{ij} \leftarrow \frac{\exp(b_{ij})}{\sum_k \exp(b_{ik})}$ $P_j \leftarrow \{c_{ij} c_{ij} \geq \frac{1}{J}\}$ $s_j \leftarrow \sum_{i \in P_j} \frac{c_{ij} \hat{u}_{i j}}{ P_j }$ $v_j \leftarrow \frac{\ s_j\ ^2 s_j}{1 + \ s_j\ ^2 \ s_j\ }$ $t \leftarrow \frac{\log(\alpha(J-1)) - \log(1-\alpha)}{-0.5 \cdot \text{mean}(\ \hat{u}_{j i} - v_j\)}$ $b_{ij} \leftarrow \ \hat{u}_{j i} - v_j\ t$ return b_{ij} </pre>

$$dc(y, \hat{y}) = \frac{2 \times y \times \hat{y}}{y + \hat{y}} \quad (5)$$

A hálózatok hatékonysági eredményeit az 5. ábra foglalja össze. Ez alapján látható, hogy ebben a speciális esetben az U-Net alapú megvalósítással sikerült a legjobb eredményt elérni. A ResNet alapú hálózat hatékonysága valamivel alacsonyabb volt ennél, de szükséges lehet a hatékonyság növelése az architektúra optimalizálásával. A PSP Net alapú hálózat esetén a hatékonyság nem volt kellően megfelelő. Ennél az architektúránál mélyrehatóbb módosítások lehetnek szükségesek a jobb eredmény eléréséhez. Az elért eredmények alapján a jövőben



5. ábra A megvalósított hálózatok hatékonysága a tanulási folyamat előrehaladtával

elsődlegesen a U-Net és a ResNet alapú elgondolások irányába célravezető további kutatásokat és fejlesztéseket végrehajtani.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm teszt pályához kapcsolódóan (EFOP-3.6.2-16-2017-00002)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] G. A. Krizhevsky, I. Sutskever és G. E., Hinton: Imagenet classification with deep convolutional neural networks, *25th International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Nevada, USA, vol. 1, pp. 1097-1105, 2012.
- [2] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet és S. Reed: Going deeper with convolutions, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Boston, MA, USA, 2015.
- [3] K. Simonyan, A. Zisserman: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, *3rd International Conference on Learning Representations*, San Diego, USA, 2015.

- [4] K. He, X. Zhang, S. Ren és J. Sun: Deep residual learning for image recognition, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA, pp. 770-778, 2016.
- [5] Huang, G., Liu, Z., Maaten, L. v. d., Weinberger, K. Q.: Densely Connected Convolutional Networks, *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, pp. 2261-2269, 2017.
- [6] Sabour, S., Frosst N., Hinton, G. E.: Dynamic routing between capsules, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2017.
- [7] Hinton, G. E., Sabour S., Frosst, N.: Matrix capsules with em routing, *6th International Conference on Learning Representations*, Vancouver, BC, Canada, 2018.
- [8] O. Ronneberger, P. Fischer and T. Brox, U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention 2015. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9351, pp. 234-241, Springer, Cham, 2015.
- [9] H. Zhao, J. Shi, X. Qi, X. Wang and J. Jia, Pyramid Scene Parsing Network, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, USA, 2017.
- [10] Wang, D., Liu, Q.: An optimization view on dynamic routing between capsules, *6th International Conference on Learning Representations*, Vancouver, BC, Canada, 2018.
- [11] Peer, D., Stabinger, S., Rodriguez-Sanchez, A.: Training deep capsule networks. <https://arxiv.org/abs/1812.09707v1>.
- [12] O. Russakovsky, J. Deng, H. Su; et al, Imagenet large scale visual recognition challenge, *International Journal of Computer Vision*, vol 115, pp. 211-252, 2015.

Szenzor platform tervezése önvezető kísérleti jármű számára

Sensor platform design for autonomous experimental vehicle

Pusztai Zoltán^a, Kőrös Péter^b, Gulyás Péter^c

^aSzéchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont
pusztai.zoltan@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont
korosp@ga.sze.hu

^cSzéchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont
gulyas.peter@ga.sze.hu

Absztrakt: Az önvezető járművekhez kapcsolódó kutatásokat manapság nagy érdeklődés övezi. A különböző szenzorok által szolgáltatott adatok feldolgozásához, valamint az adatok felhasználásához szükséges algoritmusok fejlesztéséhez járműves tesztekre van szükségünk. A teszteléshez használt járművek esetén gyakori megoldás, hogy egy hagyományos hétköznapi járművet alakítanak át és látnak el szenzorokkal. Ez viszonylag könnyen kivitelezhető, egy átlagos méretű autónál, azonban, ha egy speciális kísérleti jármű átalakításáról van szó, korán sem ilyen egyszerű a feladat. A cikkben egy egyedi energiahatékony versenyautó szenzor platformjának megalkotását mutatjuk be, mely minden olyan szenzort és adatfeldolgozó egységet magába foglal, mely szükséges a Shell Eco-marathon (SEM) autonóm versenyszámainak teljesítéséhez, kompakt és illeszthető a már meglévő kísérleti járműhöz.

Kulcsszavak: autonóm, szenzor, platform, SEM

Abstract: Research on self-driving vehicles is of great interest today. We need vehicle tests to get processable data provided by the various sensors and to develop the algorithms, which will be used for evaluation and planning. In case of test vehicles, a common solution is to convert ordinary road-legal vehicle and equip it with sensors. This is relatively easy to accomplish with an average-sized car, but when it comes to converting a special experimental vehicle for autonomous goals, the task is not so easy at all. This article presents the creation of a purpose-made energy-efficient racing car sensor platform that includes all the sensors and data processing units required to compete Shell Eco-marathon (SEM) autonomous urban concept races, compact and adaptable to the existing experimental vehicle.

Keywords: autonomous, sensor, platform, SEM

1. Bevezetés

A Shell Eco-marathon versenyfeladatok egy épített pályán zajlanak majd és olyan kihívásokat kell teljesíteni, mint például az akadálykikerülés, parkolás, illetve egy teljesen autonóm versenykör megtétele. Az önvezető jármű szenzorkérdései talán a legelső felmerülő kérdés, amit tisztáznunk kellett a fejlesztési folyamat során. A járművön elhelyezett hardware eszközök/szenzorok nagyban meghatározzák a jármű további képességeit, határait. Először kiválasztottuk azokat a szenzorokat, amelyeket alkalmazni szeretnénk a rendszerünkben. A Járműipari Kutatóközpont és az ELKH-SZTAKI által közösen fejlesztett Nissan Leaf tesztjárművel kapcsolatos kutatásoknak köszönhetően már volt tapasztalatunk a

szenzorrendszer kiépítésében. A Nissan Leaf-en megtalálható egy Continental ARS 408 radar, a tető panelen két darab Velodyne Puck 16 és szintén két darab Ouster OS1 64 lidar szenzor. Ezeket a lidarokat egészítjük ki az autó orrán található Sick LMS111 egy csatornás lidarral. A GPS jeleket egy SwiftNav Duro Inertial, a kamera képet egy ZED sztereokamera szolgáltatja. Az adatfeldolgozásról egy NI cRIO és egy NVIDIA Xavier gondoskodik. [1]



1. ábra Nissan Leaf tesztjármű szenzorrendszere

2. Kísérleti jármű ismertetése

Az átalakítandó versenyautó méretei megfelelnek a Shell Eco-marathon előírásaiban, szereplő Urban Concept jármű méreteinek. A kísérleti jármű egy egyszemélyes, 1,3m széles, 3,5 m hosszú és mindössze 1,3m magas teljes egészében karbon kompozit karosszériás versenyautó. A Nissan Leaf-en számos olyan felület adott (csomagtartó, lökhárítók, tetőcsomagtartó), ahova lehetőségünk volt szenzorokat és adatfeldolgozó egységeket elhelyezni, azonban a SZEenergy járművön (2. ábra) nincs ilyen opció.



2. ábra SZEenergy tesztjármű

A SZEenergy jármű esetén csökkentettük a szükséges szenzorok számát, egyrészt a helyhiány, másrészt az autó méreteiből adódó megfontolásból. A versenyfeladatok teljesítéséhez egy egycsatornás Sick LMS111 és egy 128 Ouster OS1 128 lidart, ZED sztereokamerát, SwiftNav

Piksi Inertial GPS rendszert kell alkalmaznunk. Az számítási kapacitásért az NI cRIO helyett egy kisebb, de hasonló architektúrájú NI myRIO felel, az NVIDIA Xavier-t pedig hasonlóképp alkalmazzuk majd a versenyjárműben, mint a Nissan Leaf-ben.

3. Szenzor adapter tervezése

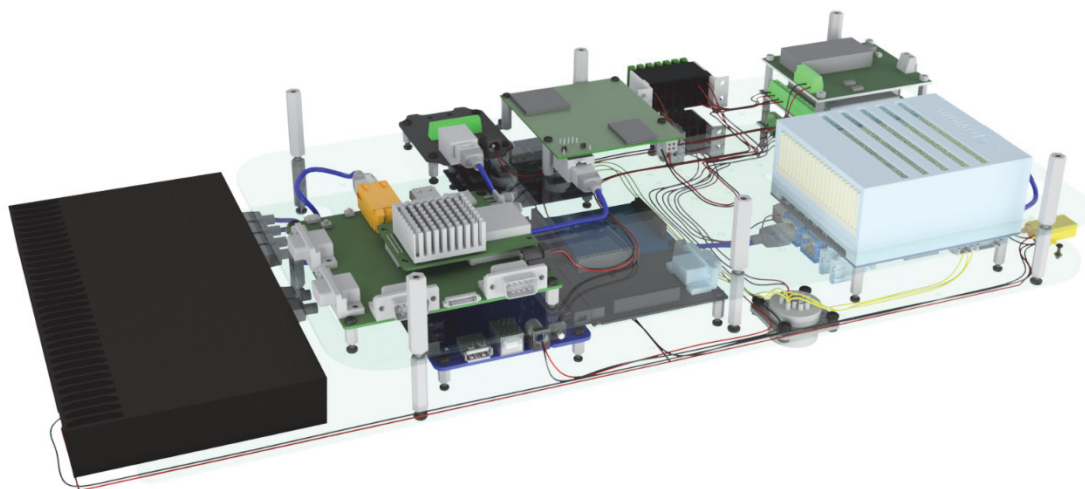
Az ismertett szenzorok elhelyezését úgy kellett megvalósítanunk, hogy a lehető legkevesebb átalakítást végezzük a jármű karosszériáján, hiszen ugyanennek az autónak kell teljesíteni az energiahatékonysági és autonóm versenyszámokat is. A karosszérián végrehajtott össze átalakítás (furatok, rögzített tartó) rontják az autó légellenállását. Továbbá szem előtt kellett tartanunk a szerelési időt is, mivel a versenyszámok között nincsenek napjaink, hogy újra kábelezzük az egész rendszert. A fentieket figyelembe véve egy kompakt szenzor platform kialakítása mellett döntöttünk, amin elhelyezzük az összes autonóm rendszer eszközt. Ez a panel az autó orrán található szerelő panel helyére illeszkedik be. A panel a karosszériához 6 db negyedfordulatos csavarral rögzíthető. Két csoportra bontottuk az eszközöket az első csoportban szereplő szenzorokat a karosszérián kívül kell elhelyezni, annak érdekében, hogy megfelelő adatokat tudjunk gyűjteni a környezetről. Ide tartozik, a Sick LMS111 sík lidar, amit az autó orrához helyeztünk el egy a panelhez kapcsoló rácsos alumínium adapteren. Az adapteren helyeztük el a ZED sztereo kameráját is. A Sick lidar esetén fontos kritérium volt, hogy a szenzor a jármű orrának síkjában gyűjtsön adatokat. Az állítható szenzor dőlésszögéről egy adapteren gondoskodtunk, így kiküszöbölhetők az esetleg szöghibák. A ZED kameránál is hasonló feltételeknek kellett megfelelnünk, hiszen itt is biztosítani kellett a kamera szögénél változtathatóságát, valamint azt, hogy a két lencse közül, az egyik az autó hossz tengelyébe essen. Az alumínium adapteren helyeztük el az állítható kamera tartót, továbbá kábelrögzítő furatokat is terveztünk a merevítők közelében, hogy esztétikusan tudjuk megoldani a kábelkorbácsok elvezetését. Az adapter két lézervágott alumínium lemezből áll, amik követik az autó formáját, hogy a legkisebb kilógással tudjuk rögzíteni a szenzorokat. A két alumínium lemezt, alumínium tengelyekkel kapcsoltuk össze, melyeket rácsosan helyeztünk el, hogy növeljük a tartó merevségét. A rácsos szerkezetű adapter elégséges merevséget biztosít, viszonylag alacsony tömeg mellett is. A merevségre pedig szükségünk van, hiszen a több mint 1 kg tömegű kilógó SICK lidar esetén fennáll az útgerjesztés hatására létrejövő rezgés veszélye, ami rontaná a mérés pontosságát.



3. ábra Alumínium szenzor adapter

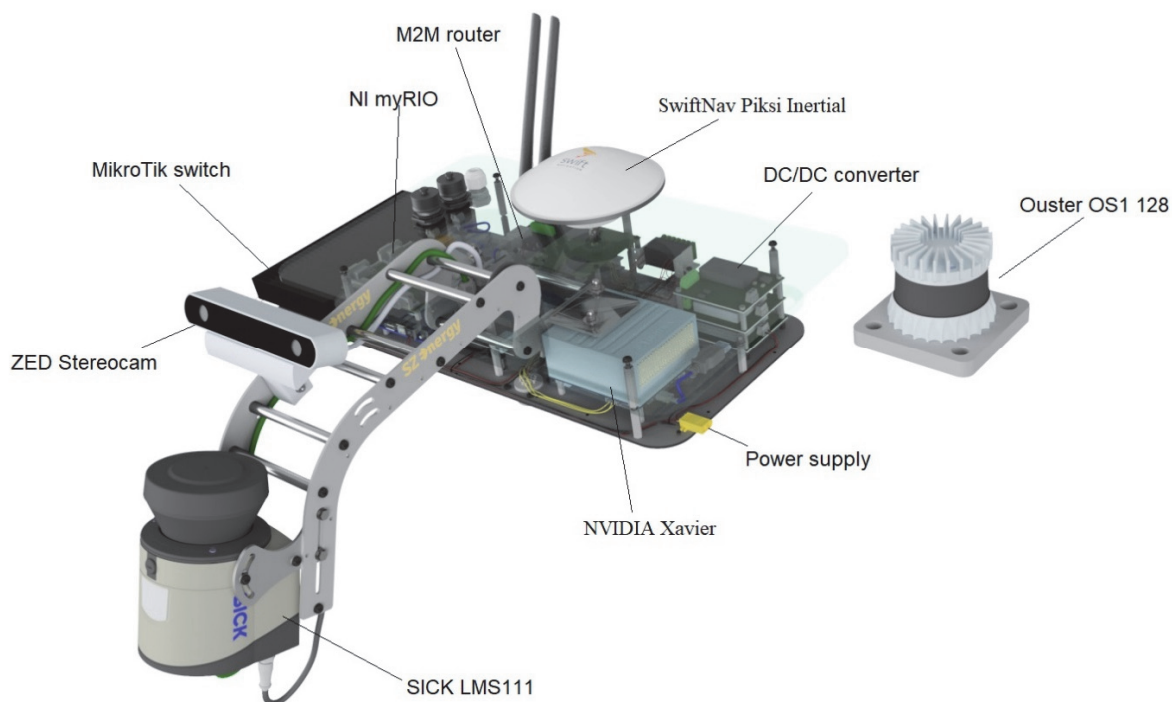
4. Szenzor panel tervezése

Az alkalmazott eszközök másik csoportjának az karosszérián belül kell helyet találnunk, ezért úgy döntöttünk, hogy egy kétszintes panelt készítünk, ami a karosszéria levehető karbon kompozit elemére csavarozható. A karosszéria elemre közvetlenül rögzítettük a GPS antennát és a 3G router antennáját is. Valamint erre a karbon elemre csatlakozik az előbb bemutatott alumínium szenzor adapter is. A kétszintes panel megtervezésére azért volt szükség, mivel a karosszéria kivágás x-y méretei korlátozottak, ezért z irányban kellett terjeszkedni. Továbbá számos elhelyezendő eszköz kis z irányú kiterjedéssel rendelkezik, ezért meg tudtuk oldani, hogy két egymástól mindössze 30 mm távolságra lévő szintre válasszuk a panelt. A legnagyobb méretű elhelyezendő eszköz az NVIDIA Xavier volt, amit az alsó szintre helyeztünk el, föléje pedig egy kivágást készítettünk a felső szintre. A Xavier mellett az eszközök feszültségellátásáról gondoskodó DC/DC konverternél alkalmaztunk hasonló megoldást. A konverter maga is úgy lett kialakítva, hogy különböző panel szinteken különböző rendszerfeszültségeket szolgáltasson ki. A panel alsó szintjén a 48V-al működő eszközök találhatók. A Xavier mellett az autonóm kormánymű szervó motorvezérlője, az NI myRIO-ja és a hálózati kommunikációért felelős switch működik erről a feszültségszintről. A felső szinten olyan 12V-ról működő eszközök kerültek elhelyezésre, mint az Ouster lidar vezérlő egységre, a Piksi GPS panele, vagy a 3G kommunikációért felelős M2M router. A két panel szintet távtartókkal kapcsoltuk össze, az alumínium adapterhez hasonlóan itt is törekedtünk a rácsos elrendezésre, hiszen az elhelyezett együttes eszközök tömege jelentős. A panelek lapjait az egyetemen készítettünk el CNC marással víztiszta PMMA műanyagból, így a különböző visszajelző ledek fényeit nem takarja el a rögzítő panel anyaga. A CAD szoftverben megtervezett vezeték útvonalak mellett rögzítő furatokat készítettünk, hogy a lehető legátláthatóbb és letisztultabb legyen a kábelvezetés az egyes panel szinteken. A panel CAD tervét a 4. ábrán szemléltetem.



4. ábra Kétszintes besüllyesztett szenzorpanel

Az Ouster OS1 128 csatornás lidarja az egyetlen olyan eszköz, ami nem a bemutatott alumínium adapteren, illetve szenzor panelek helyezkedik el. Az OS1 lidart az autó legmagasabb pontjára helyeztük el, hogy a környezetről a lehető legtöbb adatot tudjuk a rendszernek szolgáltatni. Az 5. ábrán láthatók a SZEnergy jármű autonóm funkcióinak ellátásához szükséges szenzorok a megtervezett adaptereken.



5. ábra SZEnergy tesztjármű autonóm szenzorai

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm tesztpályához kapcsolódóan (EFOP-3.6.2-16-2017-00002)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Gábor Kiss: 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* **11** (2013), 21–40.
- [2] Richard Halverson és Annette Smith: How New Technologies Have (and Have Not) Changed Teaching and Learning in Schools, *Journal of Computing in Teacher Education* **26** (2010), 49–54.

Műholdas navigációs eszköz fejlesztése önvezető járművekhez

Development of a satellite navigation device for self-driving vehicles

Somogyi Huba^a

^aSzéchenyi István Egyetem – Járműipari kutatóközpont
somogyi.huba@sze.hu

Absztrakt: A mai trendek alapján kijelenthetjük, hogy a közeli jövőben a magasan automatizált szintű járművek egyre nagyobb számban lesznek jelen a közlekedésben, az utakon. Ennek fontos előfeltétele a jármű pontos lokalizálása, tehát a járműnek mindig tudnia kell, hogy hol van, ezért képesnek kell lennie arra, hogy biztonságosan, pontosan és megbízhatóan határozza meg a helyzetét. Ez azt jelenti, hogy a járműnek mindig néhány centiméteren belül és teljes megbízhatósággal ismernie kell a jelenlegi helyzetét. Az ilyen lokalizáció alapját egy nagyon pontos térkép szolgáltatja. A környezet érzékelő szenzorok, mint például a radarérezékelő, a videokamera és a LIDAR, majd a műholdas navigáció és az inerciális érzékelők szükségesek ahhoz, hogy a jármű meghatározhassa a helyzetet ezen a térképen. Ezeknek a technológiáknak a kombinációja biztosíthatja a maximális pontosságot, biztonságot és rendelkezésre állást. A rendkívül automatizált vezetés biztonsági követelményeinek kielégítésére a környezet érzékelők mellett fejlett műholdas alapú lokalizációt alkalmaznak. Ebben a cikkben modern GNSS megoldásokkal foglalkozok, és két nagy pontosságú GNSS (Global Navigation Satellite System) rendszer összehasonlításának eredményeit mutatom be különböző körülmények között, majd ezek alapján következtetéseket vonok le a saját fejlesztésű eszköz kialakítására.

Kulcsszavak: Nagy pontosságú GNSS, GNSS-INS navigáció, autonóm lokalizáció

Abstract: Based on today's trends, we can say that in the near future, vehicles with a high level of automation will be present in increasing numbers in traffic, on the roads. An important prerequisite for this is the exact location of the vehicle, so the vehicle must always know where it is, so it must be able to determine its position safely, accurately and reliably. This means that the vehicle must always know its current position within a few centimeters and with complete reliability. Such localization is based on a very accurate map. Surround sensors such as radar sensor, video camera and LIDAR, then satellite navigation and inertial sensors are required for the vehicle to determine the position on this map. The combination of these technologies can ensure maximum accuracy, security and availability. In addition to environmental sensors, advanced satellite-based localization is used to meet the safety requirements of highly automated driving. In this article, I deal with modern GNSS (Global Navigation Satellite System) solutions and present the results of a comparison of two high-precision GNSS systems under different circumstances, and then draw conclusions for the development of the self-developed tool.

Keywords: High-Precision GNSS, GNSS-INS navigation, autonomous localization

1. Bevezetés

Az info-kommunikációs és az elektronikus technológiák gyors fejlődésével párhuzamosan (amelynek eredményeként a cél hardver, érzékelők és a hálózati teljesítmény fokozza a miniaturizálást és a fejlődést) egyre több önvezető járműtechnológia fejlődött ki [1]. Az önvezető jármű olyan jármű, amely emberi beavatkozás nélkül biztonságosan képes irányítani

magát, így akár a közúti forgalomban is részt vehet. „Vezető nélküli” vagy „autonóm” autóknak is nevezik őket, melyek érzékelők és szoftverek segítségével ötvözik a járművezérlési és navigációs feladatokat. Az önvezető járművek megvitatásának általános módja a SAE (Society of Automotive Engineers, az Egyesült Államokban működő, nemzetközileg elismert társaság) által meghatározott „önvezető szinteken” folytatott diskurzus [2]. A SAE, az autóipari szabványügynökség hat szintre osztotta a jármű vezetési képességét, a legalapvetőbb rendszerektől a 100%-os önvezetőig. Különböző forgatókönyveket kell modellezni és tesztelni az önvezető járművek biztonságának biztosítása és a költségek csökkentése érdekében. Lehetőségünk van önvezető járművek rendszeres tesztelésére szimulációban vagy valós környezetben. Csatatunk szerencsés helyzetben van Magyarországon a valós környezetbeli tesztelési terület tekintetében. Jelenleg három helyszínen van lehetőségünk kísérleti járművünkkel tesztelni:

- Zalaegerszegen működő tesztpálya, amely önálló járművek tesztelésére is alkalmas
- Lehetőségünk van kisebb tesztesetek elvégzésére is a Széchenyi István Egyetem campusán
- Nemzetközi mérési kampány részeként lehetőségünk volt tesztek végezni egy Győr melletti autópálya-szakaszon.

A Széchenyi István Egyetemen a Járműipari Kutatóközpont és a Számítástudományi és Irányítási Intézet munkatársai fejlesztik az önvezető funkciókat egy módosított Nissan Leaf elektromos járművel. Az egyik alapvető funkció a lokalizáció, amely jelenleg műholdas navigációs rendszereken alapul. Az önvezetés következő szintjeinek (3-5. Szint) eléréséhez sávszintű pozicionálásra van szükség, ennek feltétele viszont egy centiméteres pontosságú (max. 10 cm) GNSS-rendszer. A megnövekedett teljesítmény elérése érdekében ki kell javítani több hibaforrást, amelyek általában korlátozzák a GNSS pontosságát. [3][4].

A kísérleti jármű szenzor rendszerében most két nagy pontosságú GNSS vevő található. Ezek az eszközök a Novatel PwrPak-7DE1 és a Swift Navigation Duro Inertial.

A cikk első része egy áttekintés a modern GNSS technológiákról. A második rész a kísérleti jármű érzékelő rendszerét mutatja be, elsősorban a GNSS rendszerekre összpontosítva, és az elvégzett méréseket is ebben a részben mutatom be. Végül a cikk harmadik részében következtetést vonok le az elvégzett mérések alapján.

2. A GNSS technológia áttekintése

A GNSS műholdak atomórákkal, rádió adó-vevőkkel, számítógépekkel és a rendszer működtetésére szolgáló támogató berendezésekkel rendelkeznek. Ezek a rendszerek háromdimenziós helyzet-, sebesség- és időinformációt nyújtanak, amely a megfelelő passzív vevővel rendelkező felhasználó számára elérhető, függetlenül az időjárástól, a föld felszínének bármely pontján vagy annak közelében. A pseudo-távolság a műhold és a vevő közötti jel utazási ideje (idő különbség) alapján számítják ki. Mivel a rádiójelek fénysebességgel haladnak $c = 299792458$ m/s, a pseudo-távolság megegyezik az időeltolódás és c szorzatával. A GNSS rendszerek három fő szegmensre oszthatók: az űrszegmensre, a vezérlőszegmensre és a felhasználói szegmensre.

2.1. GNSS architektúrája

Az **űrszegmens** GNSS műholdakból áll, amelyek a föld felett mintegy 20 000 km körül keringenek. A navigációs műholdak két funkciót látnak el, egyrészt olyan rádiójelet továbbítanak, amely alkalmas a távolságok mérésére, másrészt információkat nyújtanak saját helyzetükről. A műholdaknak úgy kell keringeniük a Föld körül, hogy biztosítsák, hogy

bármikor, a föld felszínének bármely pontjáról legalább négy műhold 15° magasságban legyen a láthatár felett.

A **vezérlő szegmens** a vezérlőállomások, adatfeltöltő állomások és monitorállomások földi hálózatát tartalmazza. A GNSS műholdak által továbbított navigációs üzenetben szereplő információkat az ellenőrző állomás biztosítja, és továbbítja a műholdaknak. A megfigyelő állomások továbbítják az információt a vezérlőközpontba, ahol kiszámítják az egyes műholdak pontos pályadatait, atomórájuk eltérését a GNSS rendszer idejétől és az ionoszféra modelljének paramétereit. Az adatokat rendszeres időközönként (általában naponta) töltik fel a műholdakra földi antennák segítségével. Az irányítóközpont további feladatai közé tartozik a pályamódosítási manőverek felügyelete és a tartalék műholdak telepítése.

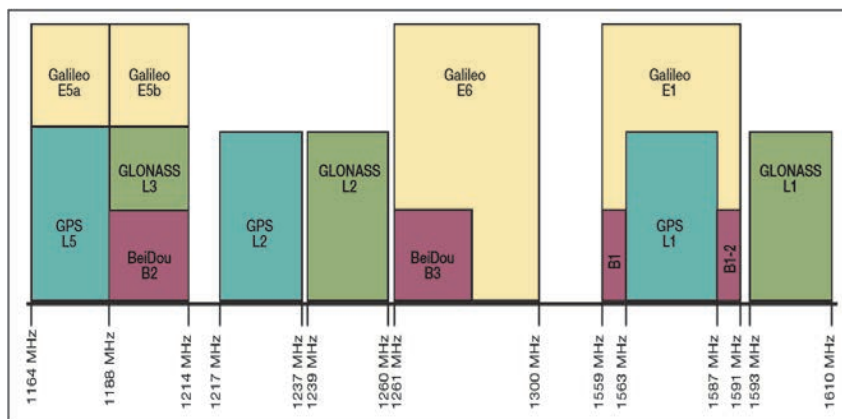
A **felhasználói szegmens** olyan berendezésekből áll, amelyek feldolgozzák a GNSS műholdak vételeit. A vevőkészülékek a felhasználói igényeknek megfelelően változatos kivitelűek, és önálló vagy beágyazott rendszerként működhetnek. Legfontosabb feladataik közé tartozik a GNSS műholdaktól érkező jelek vétele, dekódolása és feldolgozása, valamint a helyzet meghatározása a navigációs egyenlet megoldásával.

Jelenleg működő vagy tervezett műholdas helymeghatározó rendszerek, amelyek globális lefedettséget biztosítanak:

- A GPS volt az első GNSS rendszer. A GPS-t az 1970-es évek végén indította el az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma. 27 műhold és 4 pótalkatrész konstellációját használja, és globális lefedettséget biztosít.
- A GLONASS-t az orosz kormány működteti. A GLONASS konstelláció 24 műholdból áll és globális lefedettséget biztosít.
- A Galileo egy polgári GNSS-rendszer, amelyet az Európai Globális Navigációs Műholdas Rendszerek Ügynöksége (GSA) üzemeltet. A Galileo 27 műholdat fog használni. A teljes konstellációt 2020-ra tervezik bevetni.
- A BeiDou a kínai műholdas navigációs rendszer. A rendszer 35 műholdból áll. A regionális szolgáltatás 2012 decemberében kezdte meg működését. A BeiDou 2020 végéig kibővül, hogy globális lefedettséget biztosítson.

Ezenkívül két további szolgáltatást érdemes megemlíteni, az indiai regionális navigációs műholdas rendszert (IRNSS), amely helymeghatározási szolgáltatást nyújt India és környéke számára, valamint a QZSS-t, amely szintén regionális műholdas rendszer, amely szolgáltatást nyújt Japánnak és az Ázsia-Óceánia régióknak. [5][6]

Amint egyre több GNSS konstelláció és jel válik elérhetővé, annál összetettebbé válik a GNSS spektrum. A 2. ábra a négy globális GNSS-rendszer jelét és frekvenciáját mutatja.



1. ábra A négy globális GNSS frekvencia az L sávban

2.2. GNSS hibaforrások és megoldásaik

Az alábbi táblázat felsorolja azokat a lehetséges hibaforrásokat, amelyek megnehezítik a GNSS vevők számára a pontos helyzet kiszámítását.

Hiba forrása	Hiba tartomány
Műhold óra hiba	± 2 m
Műholdpálya eltérések	± 2.5 m
Ionoszférikus késések	± 5 m
Troposzférikus késések	± 0.5 m
Vevő zaj	± 0.3 m
Multipath	± 1 m

2. ábra Hiba források táblázata

Az ionoszférikus hibák helymeghatározásból történő eltávolításának egyik leghatékonyabb módja a többfrekvenciás vevők használata. A különböző frekvenciájú ionoszférikus hibák hatása különböző módon befolyásolja a GNSS jeleket. Ennek eredményeként, ha összehasonlítjuk a GNSS vevő jeleinek késleltetését, például az L1 és L2 frekvenciákon, a vevő kiszámíthatja és kijavíthatja az ionoszférikus hiba hatásait. A modern GNSS vevők képesek jeleket fogadni különböző műholdokról, ezeket több konstellációs vevőknek hívják, és hozzáférhetnek például GPS, GLONASS, BeiDou és Galileo jeleihez. A GPS-től eltérő csillagképek használata nagyobb számú műholdat eredményez a látómezőben, amelynek a következő előnyei vannak:

- Javított helyzet- és időpontosság.
- Az akadályok, például épületek és magas fák okozta problémák csökkentése.
- A látható műholdak jobb térbeli eloszlása, ami a pontosság jobb eloszlását eredményezi.

Ezeket a megfigyeléseket számos hiba szennyezi, amelyeket modellezni, megbecsülni vagy kiküszöbölni kell a pontos PVT (Position Velocity Time – Pozíció Sebesség Idő) megoldás kiszámításához. Ha ezeket egyidejűleg több frekvencián, több műholdon vagy több vevőn hajtják végre, ezek a megfigyelések lineárisan kombinálhatók, így levezethető megfigyelhető képek keletkezhetnek, különös tekintettel a feldolgozásra.

A PVT feldolgozási stratégiák két csoportra oszthatók:

- robusztus, de korlátozott pontosságú kódfázis-alapú megoldások
- nagymértékben csökkentett robusztussággal és a kétértelműségek feloldásának árán vivő-fázis alapú megoldások, amelyek potenciálisan nagyon nagy pontosságot tudnak nyújtani.

Fontosabb stratégiák és módszerek a hibák szűrésére és pozíció pontosságának javítására:

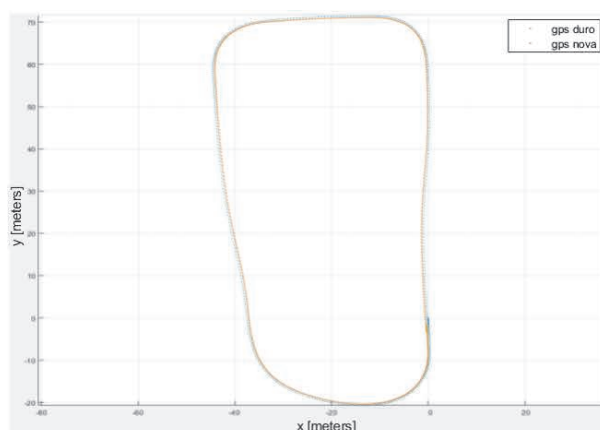
- Single Point Positioning (SPP)
- Differential GNSS (DGNSS)
- Real time Kinematic (RTK)
- Network DGNSS/RTK
- Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)
- Precise Point Positioning (PPP)

Mi ezek közül a saját rendszer rendszereinknél főként az RTK megoldást alkalmazzuk, ez azt jelenti, hogy támaszkodni kell egy vagy több referencia-állomásra és megoldást kell találni ahhoz képest. Valamint valós idejű kommunikációs kapcsolatra van szükség. [7]

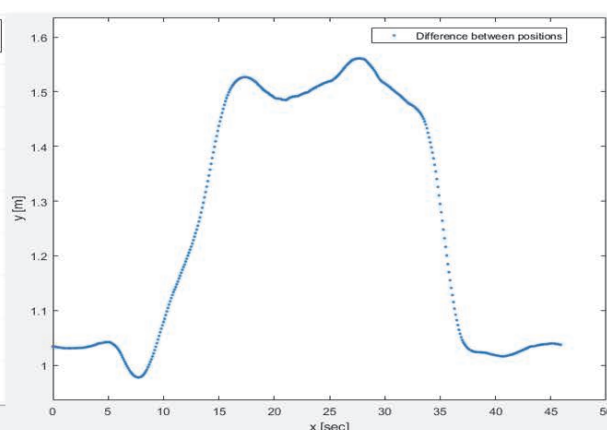
3. Elvégzett tesztek mérések

Méréseinket egy elektromos Nissan Leaf személygépkocsival hajtottuk végre, amelyet az autonóm funkciók tesztelésére módosítottunk. A jármű tetőcsomagtartójába és a jármű csomagtartójába egy speciálisan előkészített emelvényt helyeztünk el, amely lehetővé tette a globális navigációs műholdas rendszerek és a hozzájuk tartozó antennák telepítését.

Két különböző GNSS vevőt használtunk ebben a vizsgálatban. Az első a NovAtel PwrPak7D - E1, a második pedig a Swift Navigation Duro Inertial. A PwrPak7D - E1 egy robusztus, nagy pontosságú vevő, amely többfrekvenciás, kettős antennabemenettel rendelkezik, és az iparág vezető globális navigációs műholdas rendszerének többkonstellációs irány- és helyzetadatait szolgáltatja. A tájolás a jármű álló helyzetében lévő két antenna alapján is kiszámítható. A PwrPak7D-E1 nagy teljesítményű OEM7 GNSS motorral, integrált Epson G320N MEMS IMU-val, beépített Wi-Fi-vel, az NTRIP kliens és szerver támogatásával rendelkezik. A Duro Inertial Piksi Multi RTK GNSS vevő autóiipari szintű változata. A Duro Inertial beépített Bosch BMI160 inerciális érzékelővel rendelkezik, szintén NTRIP kliens és szerver támogatásával is rendelkezik. Mindkét eszköz képes RTK módban működni. A magyarországi FÖMI KGO-nak köszönhetően a hálózati RTK lefedettség 2010 óta elérhető országszerte.



3a. ábra Mérés a ZalaZone tesztpályán

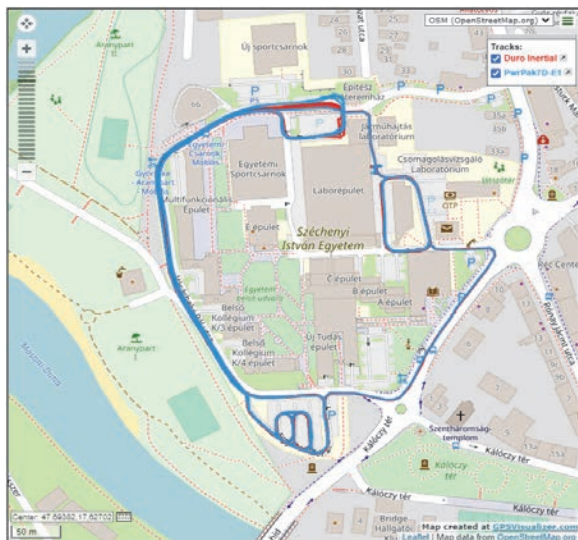


5b. ábra A rögzített koordináták közötti távolság

Az első mérést a ZalaZone tesztpályán hajtották végre (5a. ábra). A jármű fák, házak vagy egyéb akadályok nélkül körbejárt egy parkolót. A méréseket 10 és 30 km/h közötti sebességgel hajtották végre. Mivel a mérést teljesen tiszta nyílt égbolton végeztük, készülékeink végig RTK fix módban voltak. Az égen látható műholdak számától függően különböző pontosságú „float” vagy „fix” helymeghatározási megoldást kaphatunk. Megfelelő számú műhold segítségével fix pozíció megoldást nyújthat centiméteres pontossággal, ha nem elegendő műhold látható, csak float megoldás érhető el nem centiméteres pontossággal. A helyzet- és időadatokat a GNSS vevőkészülékkel rögzítettük.

Az első mérés során a két nagy pontosságú GNSS rendszer egyidejűleg megadott pontjainak távolságára koncentráltunk (a TOW - Time of week időbélyeg alapján). A koordináta pontok közötti távolságokat kiszámoltuk és a Matlab-ban ábrázoltuk (5b. ábra). Mivel a két rendszer antennái 1,1 méter távolságra vannak egymástól, ezért ennek a távolságnak kell lennie a mérés során mért távolságnak. A grafikonon láthatjuk, hogy a jármű elindulása után a különbség 1,6 méterre nő. Ez a kérdés két okból történhetett. Az egyik az, hogy nem volt szinkronjel a két eszköz között. A másik, hogy a két eszköz különböző számítási kapacitású utófeldolgozó egységet használ a GNSS-INS meghatározásához (a megoldás lényege, hogy a nyers inerciális méréseket integráljuk a rendelkezésre álló GNSS információkkal a lehető legjobb megoldás biztosítása érdekében). Összefoglalva, az első forgatókönyv azt mutatja, hogy ha több eszközt használnak ugyanarra a célra (a későbbi szenzorfüziós megoldásokat szem előtt tartva), akkor nagyon fontos az eszközök közötti szinkronizálás, és ezen túlmenően fontos kiválasztani egy feldolgozó egységet megfelelő számítási kapacitással.

A második tesztet a Győri Egyetem környékén és az egyetemi kampuszon hajtottuk végre. A teszt során a járműnek néhány másodpercig át kellett haladnia a magas épületek között, át kellett mennie egy parkolóházon, és dinamikusan változó sebességgel kellett haladnia.



4. ábra Egyetemi kampusz kör

A második mérési forgatókönyvben azokat az eseteket vizsgáltuk, amikor a GNSS jelek súlyosan leromlottak vagy teljesen megszűntek. Rövidebb jelromlás (kb. 3-4 másodperc) esetén a sávtartáshoz még mindig megfelelő pontosság állt rendelkezésre, ugyanakkor a DeadReackoning - számolás módban (teljes jelvesztés esetén) ugyanennyi idő után a sávtartás pontossága már nem volt megfelelő. Az új GNSS-technológiák egyre jobb megoldásokat kínálnak a városi környezet által okozott Multipath hibák kiküszöbölésére, de a

jelenleg megvásárolható nagy pontosságú és drága eszközök sem alkalmasak arra, hogy minden körülmények között megfelelően pozícionálják az önvezető járművet.

Összefoglalva, az elvégzett mérések azt mutatják, hogy a modern GNSS rendszerek az esetek nagy többségében nagyon jól alkalmazhatók, de ez nem elég. Természetesen sokkal több mérésre van szükség a teljes kép megtekintéséhez, de a jövőnk célja az, hogy a lehető legtöbb hiányosságot feltárjuk és megoldást találjunk rájuk egy GNSS-alapú lokalizációs rendszer létrehozására.

4. Konklúzió

Az elvégzett mérések alapján megfogalmaztunk néhány fontos tervezési szempontot. Ezenkívül fontosnak tartjuk, hogy a gyártott eszköz elfogadható gyártási költség mellett megfeleljen az ipari minimumkövetelményeknek. Első lépésként egy GNSS modult választottunk, amely az u-blox ZED F9P lett. Ez a modul megfelel az általunk először meghatározott feltételeknek:

- GPS, GLONASS, Galileo és BeiDou egyidejű vétele
- Magas frissítési arány dinamikus alkalmazásokhoz
- Centiméter pontosság

Mivel a jármű iránya nagyon fontos az autonóm funkciók megvalósításához, a pontos helyzet mellett, a statikus irány is fontos, ezért két antennás megoldásra összpontosítottunk. Ennek megkönnyítése érdekében az u-blox kiadott egy kifejezetten erre a célra tervezett F9 SoC-t (ZED-F9H). Az egység továbbá rendelkezik egy opcionálisan bővíthető IMU panellel a GNSS-INS érzékelő fúzióhoz, amelynek szinkronizálása kiemelkedően fontos az elvégzett tesztek alapján.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm teszt pályához kapcsolódóan (EFOP-3.6.2-16-2017-00002)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Bimrow, K. “Autonomous cars: Past, present and future a review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology” in 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2015
- [2] SAE “j3016 states and defines six levels of automation in on-road motor vehicles,” [Online]. Elérhető: <https://www.sae.org/news/3550/> [Hozzáférés 2020]
- [3] Wagner, J.F.; Wieneke, T. Integrating satellite and inertial navigation-conventional and new fusion approaches. Control Eng. Pract. 2003, 11, 543–550.
- [4] S. Godha and M. Cannon, “Gps/mems ins integrated system for navigation in urban areas,” Gps Solutions, vol. 11, no. 3, pp. 193–203, 2007

- [5] Novatel. An Introduction to GNSS GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and other Global Navigation Satellite Systems. Novatel Inc. Second Edition 2015
- [6] S. Dawoud, GNSS Principles and Comparison, Potsdam University, 2012
- [7] Manu, Costin-Sebastian; Filip, Larisa Ofelia; Ciuculescu, Ioan Cosmin; Tivig, Dumitru Filip; Carteş Cosmin “Error sources in positioning using GNSS receivers”.Revista Romana de Inginerie Civila; Bucharest Vol. 9, Iss. 2, (2018): 136-146.

Az új technológiák szerepe és lehetőségei a ZalaZONE Science Park környezetében

Role and opportunities of the new technologies in environment of ZalaZONE Science Park

Háry András^a, Tóth Csilla^b

^aZalaZONE Ipari Prk Zrt.

andras.hary@apnb.hu

^bZalaZONE Science Park

csilla.toth@tc.org.hu

Absztrakt: A ZalaZONE Science Park a zalaegerszegi járműipari tesztpálya környezetében kialakuló tudásalapú innovációs ökoszisztéma. A park a betelepülő vállalkozások és egyetemi kutatóhelyek, a járműiparhoz kapcsolódó szereplők, a térségi ipar, valamint az együttműködő tudásbázisok széleskörű kooperációja versenyképes, nagy hozzáadott értékű tevékenységek megvalósítása érdekében. A publikáció első részében részletesen bemutatásra kerül a ZalaZONE Science Park koncepciója, működési logikája, a megvalósítás aktuális státusza. Kitérünk a science park üzleti modell megközelítésére, és összefoglaljuk a témához kapcsolódó kutatási irányokat. A publikáció második részében áttekintésre kerülnek a témához kapcsolódó fő technológiai átalakulások, hivatkozunk az egyik kapcsolódó kutatást. Végül részletesen szerepel a ZalaZONE Science Park technológiai-szakmai pozicionálása és a park szolgáltatási koncepciója.

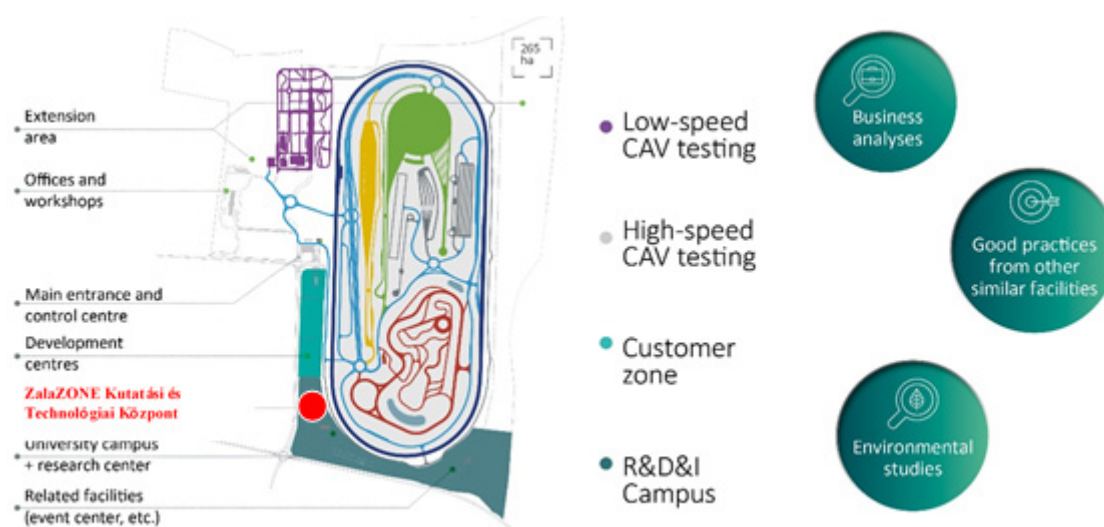
Kulcsszavak: tudományos és innovációs park, technológiai átalakulás, park üzleti modell

Abstract: The ZalaZONE Science Park is a knowledge-based innovation eco-system being developed in environment of the proving ground at Zalaegerszeg. The park offers a collaborative platform for settling companies and university research groups, local industrial players as well as involving co-operative knowledge bases in order to realize competitive, high-value added activities. The first part of the paper presents in detail the concept of ZalaZONE Science Park, the operational structure and the actual status of implementation. The business model approach of the science park and the related research areas are also summarized. The second part of the paper outlines the main technology changes relevant to the park focus, with reference of a specific research. Finally, an overview is given on the technology and professional positioning of the ZalaZONE Science Park, including the park service portfolio.

Keywords: science and innovation park, technology transition, park business model

1. Bevezetés

A ZalaZONE Science Park Zalaegerszeg északi ipari zónájában valósul meg. Az ipari zóna fejlesztés 2005-ben indult el, a park első fázisában fejlesztett terület mintegy tíz év alatt megtelt, a zóna 2014-ben az országban elsőként nyerte el a Tudományos és Technológiai Park (TTP) címet. A park második fázisa a tesztpálya beruházással nyílt meg 2016-ban, ennek környezetében épül ki a jelen írásban bemutatásra kerülő Science Park környezet. A ZalaZONE Science Park megvalósításának szándéka a térség kutatás-fejlesztési versenyképességének növelése, és az ehhez szükséges infrastruktúra fejlesztése; egy olyan környezet létrehozása, ahol a gazdasági szereplők és az egyetemi szféra szereplői szoros együttműködésben működnek egymás mellett. Az 1. ábrán az „R&D campus” jelzi a ZalaZONE Science Park program kiinduló területét, benne a már működő ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központtal [1].



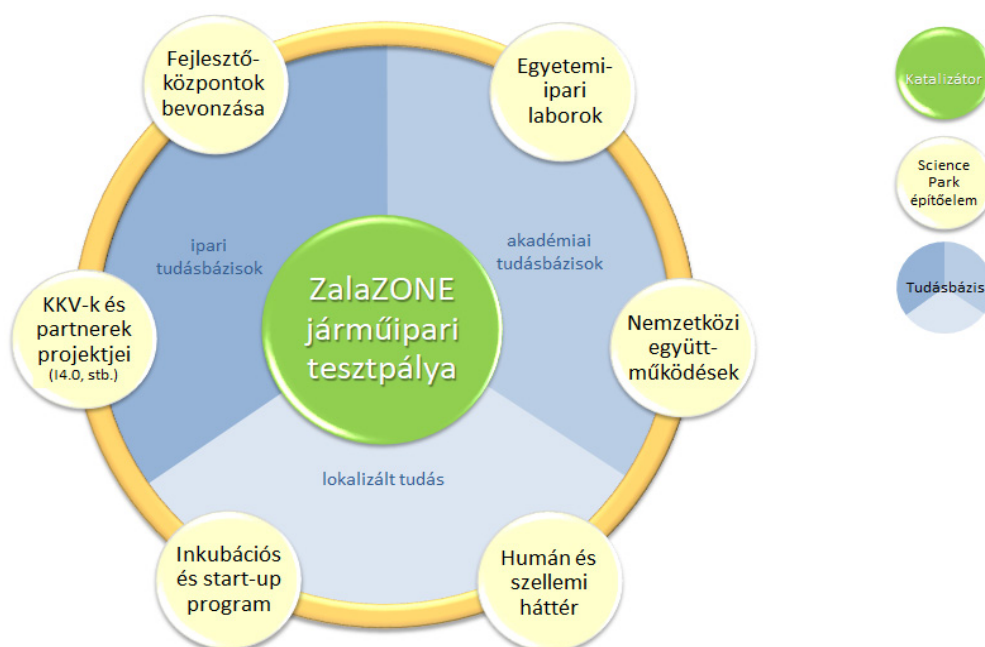
1. ábra. A ZalaZONE Science Park kapcsolódása a zalaegerszegi járműipari tesztpályához

Tekintettel arra, hogy Zalaegerszegen klasszikus értelemben vett nagy térségi központi egyetemi bázis nincs, ezért a ZalaZONE Science Park nem egyetlen egyetemi intézményrendszerre alapoz. Elsősorban szakmaspecifikus kapcsolatokat keres a modell, amelyek összekötik az együttműködő intézményeket. Ez a közös szakmaspecifikus fókusz a kurrens és jövőbemutató járműipari, ipari technológiák köré épül, és ez alapján kapcsolja össze a felsőoktatási egyetemi intézményeket más-más tudásbázisokon. A ZalaZONE Science Park kiemelt figyelmet fordít a kapcsolódó ipari partnerek igényeire, amelyek köré a park tevékenysége szerveződik, mint végső ügyfelek.

A Parkba települő egyetemi/kutatóintézeti partnerek – Széchenyi István Egyetem, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Pannon Egyetem, Bay Zoltán kutatóintézet; kiegészülve a tesztpályához kapcsolódó közel félszáz külföldi egyetemi-kutatóintézeti együttműködési kapcsolattal, adja a park alapvető tudásbázis háttérét. Az egyetemi csoportok mellett több szolgáltató szervezet (Technológiai Centrum, Rewotek Kft., Illés Produkt Kft., MAJOSZ, Duális Képzőközpont, Pannon Fejlesztési Alapítvány) is működik már a parkban.

2. A ZalaZONE Science Park modellje

A zalaegerszegi Science Parkban a járműipari tesztpálya jelenti a program katalizátorát (2. ábra), a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ pedig a tudásalapú fejlesztések gyűjtőpontját. A park a tudásterületi fókuszok mentén a lokalizált tudásokból táplálkozik (azaz a parkban dolgozó szakemberekből – senior, junior, kutató és talent, beleértve a jelentős gyakornoki poolt is), melyet kiegészítenek az együttműködő (és a parkban egyre növekvő intenzitással bázissal is rendelkező) ipari-technológiai partnerek, valamint az egyetemi-kutatóintézeti partnerek tudásbázisai. Tudáshordozó szereplők ezáltal részben a helybeni (növekedő tudások), részben az összekapcsolt (technológiai partnerek) források; ez utóbbi egy-egy technológia vezető ipari szereplőit jelenti. Fontos bázisa a parknak a jövőbeni tudáshordozók köre, ők a járműipari tesztpálya projekthez kapcsolódóan elindított, ma már parki szinten működő gyakornoki program, valamint az intézményi integráció partnerei (horizontális és vertikális).



2. ábra. A ZalaZONE Science Park modellje és pillérei

Fejlesztőközpontok bevonása: Célja olyan vállalkozások bevonása, amelyek elsősorban a fejlesztési láncba illeszkedő tevékenységeket végeznek, az egyéb ipari technológiák fejlesztőközpontjai, valamint a kapcsolódó területek tudásalapú ipari tevékenységei preferáltak.

Egyetemi-ipari laborok: A programelem lényege olyan ipari orientációjú kutató laborok bevonása, amelyek a szolgáltatási tevékenység mellett kutatási célt is szolgálnak, ezek együttműködésben az egyetemi partnerekkel kerülnek működtetésre. Jelenleg anyagvizsgálati, szimulációs és járműdiagnosztikai laborok működnek a parkban.

Inkubációs és start-up program: A programelem lényege helyet adni olyan induló vagy fejlődő üzleti kezdeményezéseknek, amelyek illeszkednek a tudományos és innovációs park ökoszisztémájába-profiljába, partneri körébe, együttműködési rendszerébe.

Humán és szellemi háttér: Biztosítja a park ökoszisztémájának sikeres működéséhez szükséges humán és szellemi háttér fejlődését. Ez tartalmaz a parkon kívül mutató tevékenységeket is (műszaki szakmát népszerűsítő promóció, alsóbb iskolai együttműködések) és tartalmazza a gyakornoki pool működtetését a duális képzőközpontok logikájának megfelelően.

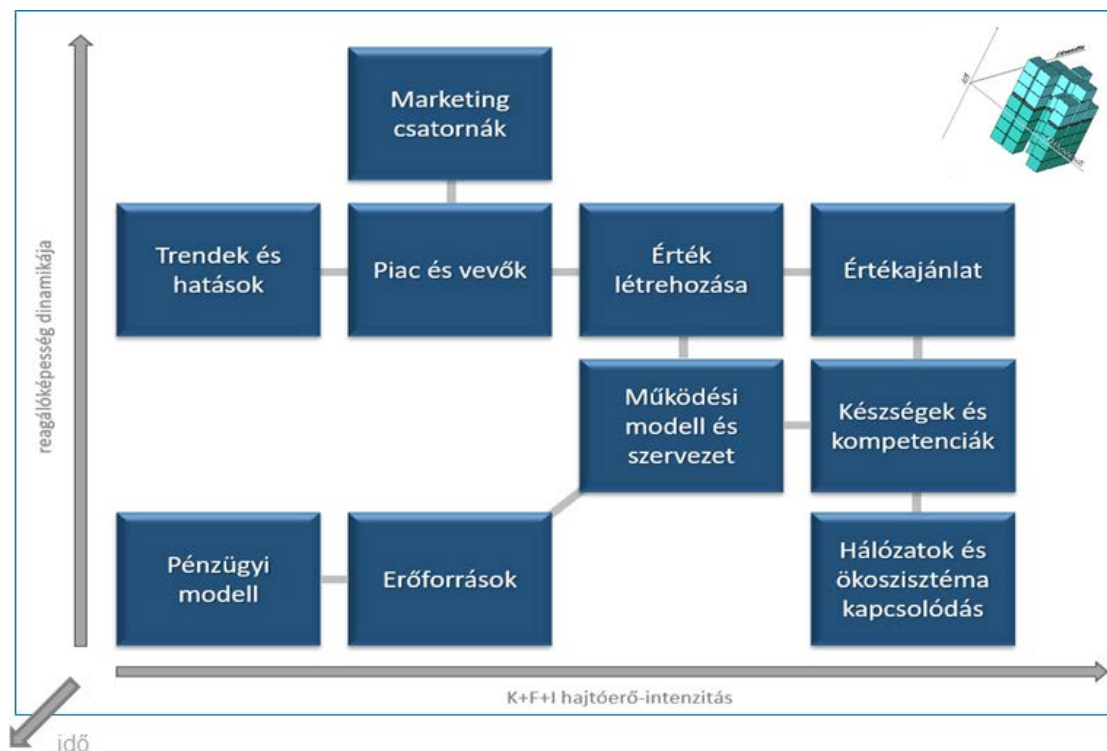
KKV-k és partnerek projektjei: A programelem lényege elősegíteni a tudományos és innovációs park ökoszisztémájának tovaggyűrűzését a térségi, illetve együttműködő KKV hálózatok mentén.

Nemzetközi együttműködések: A programelem lényege biztosítani a park bekapcsolását a nemzetközi vérkeringésbe; tartalmazza a nemzetközi intézményi együttműködések. A nemzetközi együttműködések egyik fő színtere a Graz – Zalaegerszeg – Maribor térségében megvalósuló trilaterális együttműködés, de ezen kívül a helyi és az intézményi nemzetközi együttműködési hálóra is épít.

3. A ZalaZONE Science Park szervezésének üzleti modell alapú megközelítése

A ZalaZONE Science Park koncepciójához szorosan kapcsolódva készült egy kutatás [2] a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ működésére, amely a Science Park működési logikájának alapját is adja. Ennek keretében kidolgozásra került egy keretmodell (3. ábra), amely a megvizsgált üzleti modellek elemeit egyesíti, integrálja egy új struktúrában továbbfejlesztett modellbe, figyelembe véve a K+F+I célú együttműködési rendszerek specifikus sajátosságait. A modellhez kapcsolódóan kialakításra került egy testre szabható értékelő rendszer is, amely alkalmas a tevékenységek üzleti szemléletű elemzésére, és fejlesztési javaslatok megfogalmazására, a fejlesztésekre vonatkozó következtetések levonására, mind az egyéni szereplők, mind egy kutatóközpont, valamint egy teljes ökoszisztéma üzleti jellegű működtetése szintjén.

A meghatározott üzleti modell elemek két szempont mentén rendezhetők. Az egyik tengely a K+F-re való reagálóképesség dinamikája, arra utal, hogy az adott elem tartalmát milyen gyorsan tudjuk bevezetni a szervezeti működési folyamatokba. A másik tengely pedig a K+F+I hajtóerő intenzitás, amely azt tükrözi, hogy a kutatás-fejlesztéshez milyen intenzitással kapcsolódik, mennyire indítja el, mennyire a valódi hajtóereje a K+F-et erősítő folyamatok és teljesítmény alakításának. Mindez azonban tovább bővíthető jövőorientált elemekkel, ezzel az alapmodell két dimenziója mellé megjelenik az idő dimenzió is. Ez a megközelítés egy olyan általános jellegű üzleti modell keretrendszerét ír le, amely egyszerre jövőbemutató, dinamikus és tudás-alapú. Ezen modell vizsgálata és igazolása további kutatásaink tárgyát képezi a jövőben, az innovációs ökoszisztémákra általánosan használható modell meghatározása céljából.

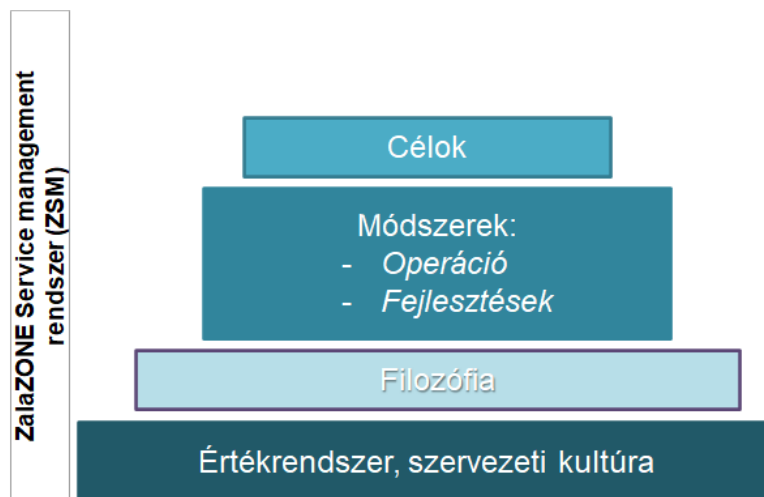


3. ábra. Keretrendszer az üzleti modell-alapú megközelítéshez

A témában további kutatások folynak, melyek három fő iránya:

1. A *ZalaZONE Service Management Rendszer*, amelynek szintjeit a 4. ábra mutatja, alapelem az értékrendszer és szervezeti kultúra, ezt követően a szervezeti filozófia, az alkalmazott módszerek és a legfelül pedig a célok. Ezt hívjuk a science park szolgáltatási háznak, amely egy operatív keret, a további kutatások célja ennek vizsgálata a gyakorlati működés tükrében.
2. Egy ökoszisztémában az ellátási lánc fogalma helyett ellátási hálózatról vagy méginkább szolgáltatási hálózatról beszélhetünk, hiszen a science park szereplői egy kollaboratív rendszerben helyezkednek el, és a kérdés, hogy ezek a szereplők és az értékteremtési hálózat hogyan viszonyulnak egymáshoz. Hogyan ér össze a különböző szereplők érdeke a struktúra egyes elemei mentén, melyek a problémák, melyek a megoldások, ki kinek a vevője, beszállítója, vagy ezek akár dinamikusan is változhatnak. Azt is figyelembe kell venni a vertikumok vizsgálata során, hogy a szereplők közti együttműködések mennyiben eredményeznek inkonzisztenciát, mert ez különböző problémák forrása lehet.
3. Az előzőekben bemutatott ún. „kocka üzleti modell” továbbfejlesztése, adja a teljes park üzleti orientáció modelljét egy szegmentált rendszerben. Mivel a park üzleti alapú modellje egy többdimenziós értékláncre vagy hálózatra épülő modell, ezért a mindekori dinamika nagymértékben befolyásolja. Ez teremti meg az üzleti orientáció alapját és ezt

kell majd a jövőben tovább bontani, vagyis az üzleti orientációt a park szolgáltatási menedzsment rendszerével szembeállítani. A cél, hogy ennek a rendszernek minden fontos elemét azonosítani tudjuk, és ez lesz várhatóan a jövőbeni kutatások egyik fő eredményterméke.



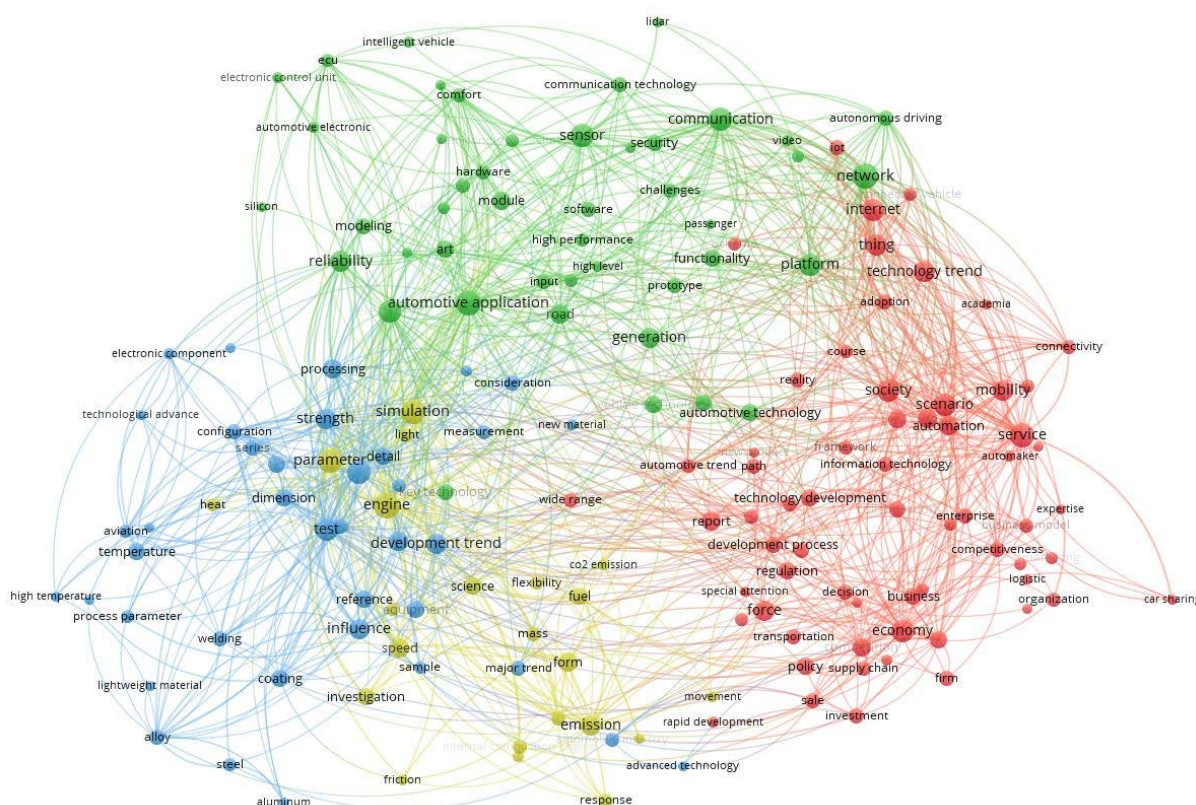
4. ábra. A ZalaZONE Science Park szolgáltatási menedzsment rendszer

4. Technológiai kihívások

A ZalaZONE Science Park tudásterületi fókuszja az ipar-járműipar, ezen belül elsősorban fejlesztés, tesztelés és gyártás (járműtechnológiák, mechatronika, szimulációs-kommunikációs technológiák / tervezés/design, anyagok, ipari gyártástechnológia kompetenciaterületekkel). E területeken napjainkban komoly technológiai átalakulások folynak, melyek számos kihívást támasztanak nemcsak az ipari vállalatok, de az innovációs ökoszisztémák építése számára is.

A járműiparban folyó két fő technológiai változása a hagyományos belsőégésű erőforrásokra épülő hajtásláncok helyett egyéb meghajtó erőforrások megjelenése, valamint az automatizált és autonóm járműirányítás megjelenése, fejlődése. Ezeket egészíti ki az összekapcsolt (connected) megoldások köre, amely a jármű-fókuszú rendszerek helyett tágabb értelmet ad a mobilitási rendszereknek. Ezen technológiai irányok egyes elemei már széles körben működnek (például a hibrid hajtásláncok), mások esetében a fejlődés ellenére még mindig vannak nyitott pontok (pl. elektromos hajtások alkalmazási kérdései), de például az autonóm megoldások fejlődése, elterjedése körében még kifejezetten sok a kutatási, fejlesztési kihívás. Kapcsolódó releváns források: [3], [4], [5].

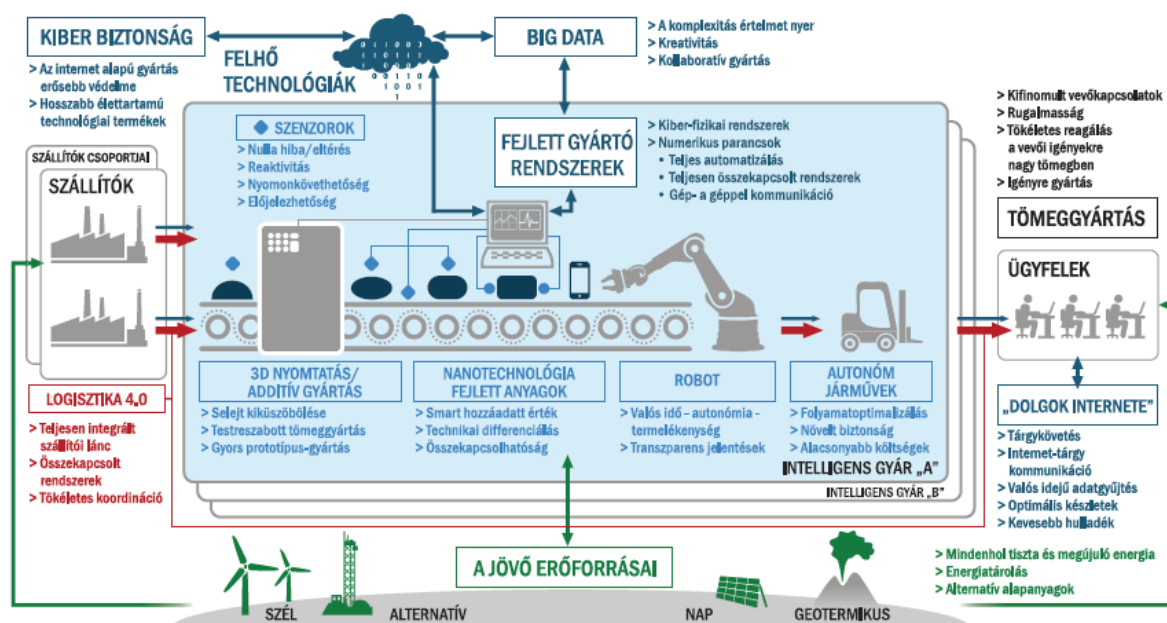
Egy korábbi kutatásban [6] a kutatási térképezés módszerét (5. ábra) használtuk az új technológiai irányok kapcsolatainak elemzéséhez négy technológiai területre: autonóm járművek, összekapcsolt mobilitás, hibrid megoldások, elektromos járművek. Eltérő aktuális technikai kihívások mellett, mind a négy technológia esetén a műszaki vonatkozásokon túl, élő kutatási fókuszterület az egyéb társadalmi aspektusok vizsgálata is.



5. ábra. A kutatási térképezés módszere a járműipari technológiai változásokhoz kapcsolódóan

A járműipar mellett az ipar egészét tekintve, meghatározó technológiai trend az Ipar 4.0 néven jellemzett technológiai átalakulás. Egy ismert tanulmány [7] jól érzékelteti az Ipar 4.0 átfogó jellegét (6. ábra), amely azonban számos, a járműiparban is releváns technológiai változáshoz kapcsolódó elemet, analógiát tartalmaz (pl. szenzorok, „connectivity”, autonóm megoldások, stb.). Ez is azt támasztja alá, hogy a jelenlegi technológiai átalakulások ágazatokon túlnyúló, áttörő típusú változások, amelyek értelmezése alapvető fontosságú a tudásalapú fejlesztéseknél, mint egy tudományos és innovációs park program.

A park szolgáltatási körének kialakítása során értelemszerűen szem előtt kell tartani azokat a jelenlegi, aktuális igényeket, amelyeket az érintett szereplők megfogalmaznak, ugyanakkor a technológiai váltások kihívásai körvonalazzák azokat az elvárásokat is, amelyekhez kapcsolódó kompetenciaigények viszont célzott tudásfejlesztést tehetnek szükségessé. Ilyen értelemben a park irányultságának meghatározása során lényeges azokat a kompetenciapályákat definiálni, amelyek a technológiai irányok mentén körvonalazzák a tudományos és innovációs park tudásépítési programját. Míg a jelenlegi igényeket általában az ipari szereplők és az oktatási háttér világosan körvonalazza, a változó technológiákból eredő kompetenciaelvárások már sokszor nem ilyen egyértelműek. Éppen ezért kulcselem a science park programban az élenjáró technológiai tudásokhoz való hozzáférés, a globális technológiai trendek megértése, monitorozása vezető ipari vállalatokkal való együttműködések keretében. Ezt jól kiegészíti az egyetemi, kutatóintézeti K+F tevékenység, ezekben való részvétel, az érintett technológiákhoz kapcsolódó tudományos hálózatokba való bekapcsolódás.



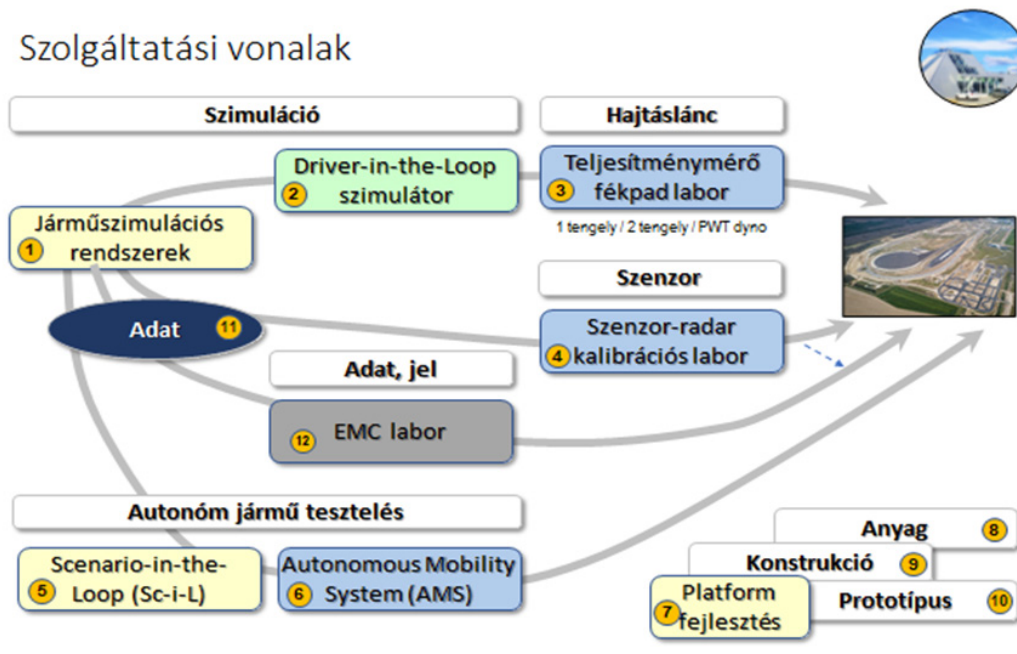
5. ábra. Az Ipar 4.0 értelmezése ipari környezetben

5. A ZalaZONE Science Park pozícionálása

A fentiek tükrében, figyelembe véve a járműipari tesztpályához kapcsolódó igényeket, a térségi sajátosságokat, valamint a már működő ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központban meglévő képességeket, a park fő magkompetencia-területei:

- **Termékekhez** kapcsolódó képességek, terméktervezés, termékvizsgálat és -tesztelés, elemzés;
- **Anyagokhoz** kapcsolódó képességek, anyagvizsgálat, anyagtechnológiai háttér, elsősorban fémek területén, részben egyéb (polimer, kompozit) anyagterületeket is érintve;
- **Gyártási technológiákhoz** kapcsolódó képességek, ezen belül új gyártási eljárások, technológiák modernizálása és optimalizálása;
- **Mechatronikai rendszerek** képességei, mechatronikai elemek, ezek rendszerbe szervezése, programozása, fejlesztése;
- **Jármű teszteléshez** kapcsolódó képességek; járművek tesztelése, funkcionális tesztek, önvezető megoldások és közlekedési rendszerek tesztjei, on-road és off-road tesztkörnyezet, validációs folyamatok;
- **Szimulációs környezet, szoftveres** megoldások, egyedi fejlesztések, szoftveres támogatás.

Az ezen képességekre épített szolgáltatási struktúra koncepciót a 6. ábra foglalja össze, érzékeltetve az egyes szolgáltatási területeket, azok kapcsolódását és egységes szolgáltatási rendszerbe foglalását. Ezen szolgáltatások közül már vannak jelenleg is működő elemek, vannak kialakítás alatt levő területek, és vannak előkészítés alatt levő szolgáltatások.



6. ábra. ZalaZONE Science Park szolgáltatási koncepció

6. Összegzés

A ZalaZONE Science Park a zalaegerszegi járműipari tesztpálya környezetében kialakuló tudásalapú új innovációs ökoszisztéma. A park rendszerének egyes elemei már működnek, a hiányzó elemek kialakítás és előkészítés alatt állnak.

A versenyképes működtetés érdekében került kidolgozásra a park üzleti modell alapú megközelítése és folynak a témához kapcsolódó további kutatások, beleértve az operatív működési területeket és a szereplők közötti együttműködési rendszer fejlesztését is.

A ZalaZONE Science Park szakmai-ágazati területeihez köthető, aktuális technológiai átalakulások meghatározóak a park pozicionálása tekintetében, valamint a kapcsolódó kompetenciák, tudásbázisok felépítésének menedzseléséhez és a versenyképes szolgáltatási területek felépítéséhez.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm tesztpályához kapcsolódóan (EFOP-3.6.2-16-2017-00002)”

projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] ZalaZONE tesztpálya bemutató prezentáció, Autóipari Próbapálya Zala Kft.
- [2] Tóth Csilla: A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ kutatás-fejlesztési hátterének és üzleti stratégiájának kidolgozása, *MBA diplomadolgozat* (2020)
- [3] David Cearley, Nick Jones, David Smith, Brian Burke, Arun Chandrasekaran: Top 10 Strategic Technology Trends for 2020, *Gartner*, p7, p38 (2019)
- [4] Felix Kuhnert, Christoph Stürmer and Alex Koster: Five trends transforming the Automotive Industry, *PwC study*, p7, p10, pp31-34 (2017)
- [5] Fleischer Tamás: Gondolatok a közlekedés jövőjéről, *MTA Közgazdaság- és Regionális Tudományi Központ, Világgazdasági Intézet*, pp4-6 (2018)
- [6] Hány András, Pekk Letícia: New automotive technologies from perspective of the ZalaZONE Proving Ground and its innovative eco-system, *XIV. IFFK Conference Paper*, (2020. október 28-30.)
- [7] Morris Hosseini, Partner – Roland Berger Strategy Consultant: What will the future look like under Industry 4.0 and digital transformation in the healthcare space?, *Study, Stuttgart*, (April 21st, 2015)

Kormányzáskor ébredő visszatérítő nyomatékok modellezése alacsony sebességeknél

Modeling of self aligning torque at low speeds

Istenes György^a, Polák József^b

^aSzéchenyi István Egyetem

istenes.gyorgy@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem

polakj@ga.sze.hu

Absztrakt: A közúti járművekben általánosan alkalmazott kormánymű geometriáknál kanyarodáskor fellép egy ún. visszatérítő nyomaték. Ennek is köszönhető, hogy kanyarodáskor elengedett kormánykeréknél a kerekek megpróbálnak újra egyenesbe állni. Néhány kormánygeometriánál azonban nagy kormányzögek és kis sebességek esetén előfordulhat az a jelenség, hogy ennek a nyomatéknak az előjele megfordul, így a kerekek még inkább be akarnak fordulni. Ennek a jelenségnek a modellezése elengedhetetlen abban az esetben, amennyiben a járművet autonóm funkciókkal szeretnénk kibővíteni, mivel ilyenkor nem lehet lineáris rendszerként modellezni a kormányzást. Ennek a problémának egy megoldási lehetősége van leírva ebben a cikkben.

Kulcsszavak: kormánymű, modellezés, greybox

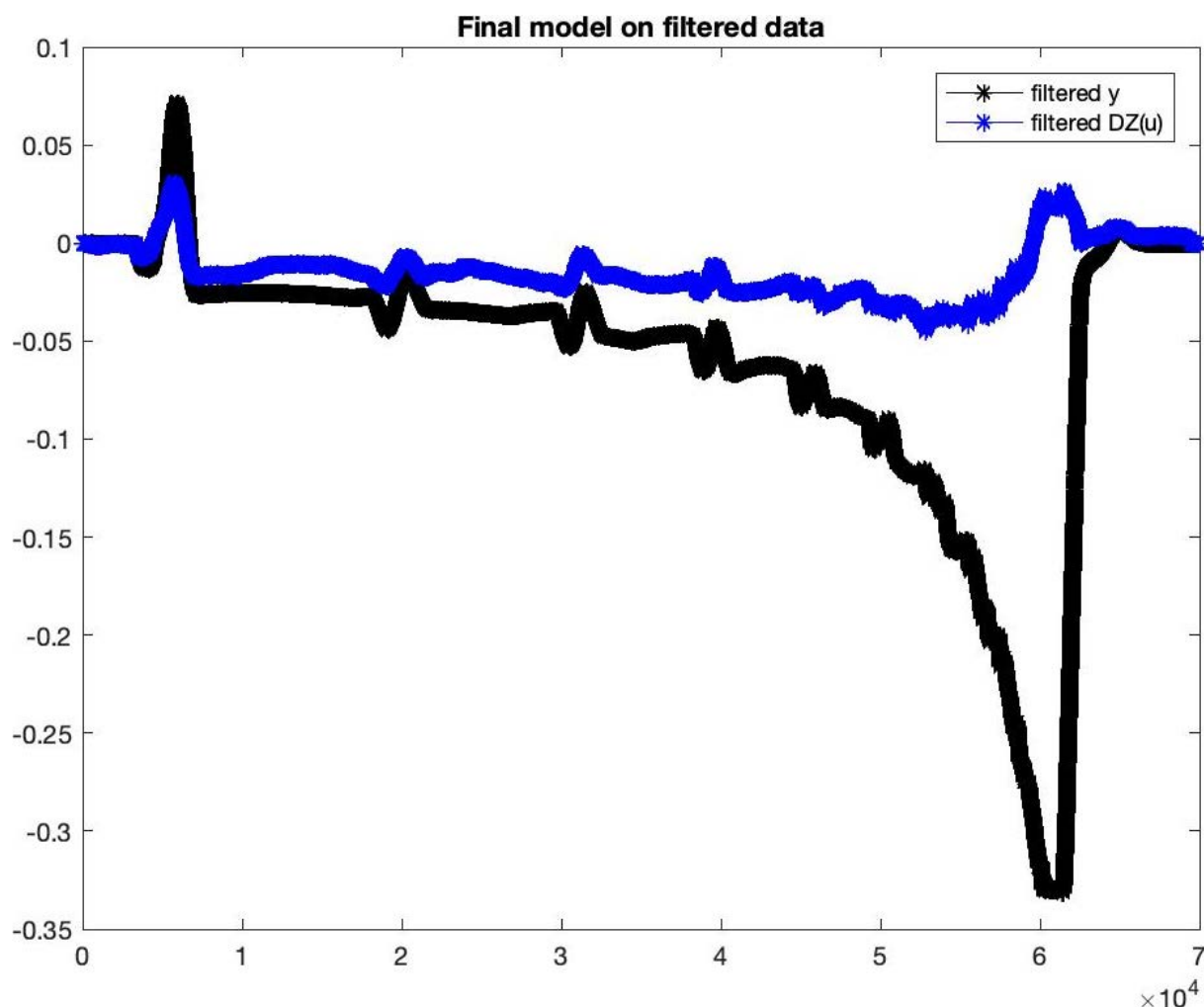
Abstract: Steering of road vehicles can occurring an effect that is the aligning torque. As a result when the steering wheel is released when cornering, the wheels try to straighten again. The sign of this torque may be reversed and making the wheels want to turn even more with some steering geometries at high steering angles and low speeds. Modeling this effect is essentials if we want to expand the vehicle with autonomous functions. It isn't possible to model the steering as a linear system. A solution to this problem is described in this paper.

Keywords: steering, modelling, greybox

1. Bevezetés

Az autonóm járművek alapvető alrendszere a steer-by-wire kormányrendszer, ill. elektromechanikus kormányaktuátor, mivel ez az alrendszer képezi a legfontosabb beavatkozószerét a járműirányítási rendszernek, ezért az ezzel kapcsolatos kutatások és fejlesztések alapvető fontosságúak az autonóm járművek működőképessége szempontjából. A cél tehát egy olyan matematikai modell létrehozása, amely alkalmas az absztraktban leírt visszatérítő nyomaték modellezésére azokban az üzemállapotokban is, ahol ennek előjele megváltozik.

A visszatérítő nyomatékkal kapcsolatos problémát a következő ábra mutatja be (lásd **1. ábra**):



1. ábra. A yaw rate és a kormányszervo vezérlőjele.

A fenti ábrán az idő szerint látható a yaw rate (fekete) és az elektromos kormányszervo bemenő jele (kék). A yaw rate a jármű függőleges tengelye körüli mozgást írja le, mértékegysége rad/s. A kormányszervo bemenő jele pedig a szervo vezérlőfeszültsége, ami pedig a szervo által kifejtett nyomatékkal arányos. A fenti ábrán egy elektromos kormányszervoval felszerelt Nissan Leaf tesztjármű mérési eredményei láthatóak. Kis kormányszögeknél a bemenő jel növelésével nő a kimenet is, ahogy egy stabil rendszernél normális. Nagyobb kormányszögeknél viszont pont úgy néznek ki a jelek, mint egy instabil rendszer szabályozási körében. Hatni kezd egy olyan nyomaték, ami szeretné még tovább növelni a kormányszöget, de az autó körpályán tartása érdekében a szabályozó ellentétes irányba dolgozik. $6 \cdot 10^4$ s minta körül már ellentétes a bemenet és a kimenet előjele. Ez annak köszönhető, hogy a visszatérítő nyomaték előjele megváltozik, így a kormányszervonak is ellenkező irányú nyomatékot kell leadnia.

2. A modell leírása

A kormánymű modell egy MATLAB Simulinkben elkészült kerékpármodellből, és a hozzá matlabban illesztett nyomatékszámításokból állnak.

2.1. Az egynyomú modell

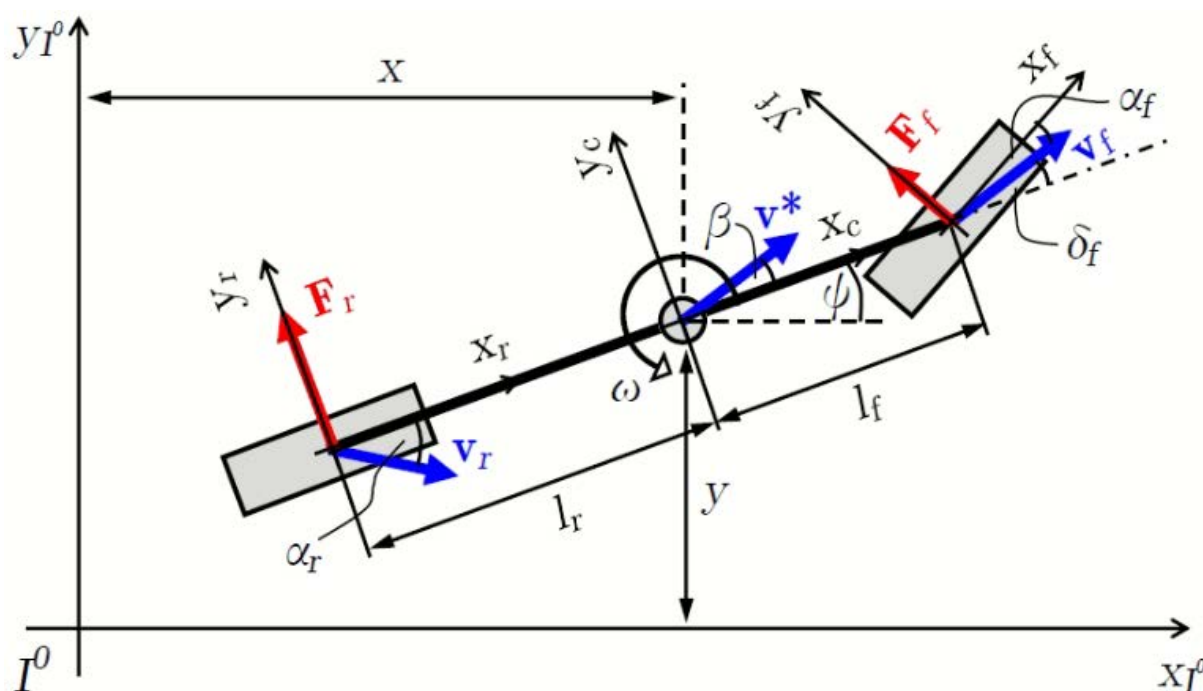
A egynyomú vagy kerékpár modelles egyszerűsítés során azt feltételezzük, hogy a kormányzott kerekek egyforma mértékben fordulnak el és egyformán viselkednek kormányzás közben (pl.: a kerékdőlés és kerékösszetartás nem befolyásolja a kormányzást). Ez a legegyszerűbb modell, ami a jármű oldalirányú és perdülési dinamikáját leírja. Így lehetőség van egy egynyomon haladó járműmodellel helyettesíteni a jármű fizikai modelljét. A modell bemenetei

- a kerék elfordulási szög és
- a jármű sebessége.

A modell kimenetei pedig

- a jármű kúszási szöge, tehát a jármű tömegközéppontjából húzott sebességvektor és a jármű hossz tengelye között bezárt szög,
- a jármű tömegközéppontjának szögsebessége,
- az elsőkerékre ható oldalerők,
- a hátsókerékre ható oldalerők,
- az első kerék kúszási szöge és
- a hátsó kerék kúszási szöge.

A kerékpármodell a következő ábrán látható (lásd **2. ábra**):



2. ábra. A kerékpármodell.

Az egynyomú járműmodell a jármű viselkedését annak mozgásegyenleteivel írja le a következő összefüggés alapján:

$$M\ddot{y} - f = 0, \quad (1.)$$

ahol M az általánosított tömegmátrix, $\ddot{y}$ a gyorsulásvektor, f pedig a járműre ható általánosított külső erők vektora. Ezek a mennyiségek a következő összefüggések alapján számíthatóak ki:

- $M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & \theta \end{bmatrix}$, ahol m a jármű összgördülő tömege, θ pedig a tömegközéppontján átmenő függőleges tengelyre számított tehetetlenségi nyomatéka,
- $\ddot{y} = \frac{d\dot{y}}{dt} = \begin{bmatrix} -v \sin(\psi + \beta) (\dot{\psi} + \dot{\beta}) \\ v \cos(\psi + \beta) (\dot{\psi} + \dot{\beta}) \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix}$, ahol $\dot{y} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \cos(\psi + \beta) \\ v \sin(\psi + \beta) \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}$ a sebességvektor, $y = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \psi \end{bmatrix}$ a pozícióvektor, $v = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}$ a sebességvektor első két koordinátája, β pedig a jármű oldalkúszási szöge.

A járműre ható általánosított külső erők meghatározása összetettebb számításokat igényel. Általánosságban kijelenthető, hogy a járműre ható külső erőket a gumiabroncs-talaj kapcsolatban ébredő oldalerők alkotják. Ezek az oldalerők alapvetően a gumiabroncsok érintkezési pontjainak (keréktalppontoknak) oldalirányú, ill. hosszirányú sebességkomponenseitől valamint ezek egymáshoz viszonyított arányaitól függenek. Az oldalerők ismeretében felírható a mozgásegyenlet:

$$f = \begin{bmatrix} -\sin(\psi) (F_{yf} + F_{yr}) \\ \cos(\psi) (F_{yf} + F_{yr}) \\ F_{yf}l_f - F_{yr}l_r \end{bmatrix}, \quad (2.)$$

ahol F_{yf} az első tengelyre ható oldalerő, F_{yr} a hátsó tengelyre ható oldalerő, l_f az első tengely és a tömegközéppont közötti távolság, l_r pedig a hátsó tengely és a tömegközéppont közötti távolság. Ezt behelyettesítve, valamint az első sort elhagyva – mivel az a hosszirányú mozgást írja le, jelen esetben pedig csak az oldalirányú mozgást modellezzük – a következő összefüggés adódik:

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(\dot{\psi} + \dot{\beta}) \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{yf} + F_{yr} \\ F_{yf}l_f - F_{yr}l_r \end{bmatrix} = 0. \quad (3.)$$

2.2. A greybox modell

A greybox modell magában foglalja a kerékpár modellt. Itt lehetőség van megadni bemenetként különböző kerékelfordulási szögeket egy adott frekvenciával és járműsebességgel. A modell ezek alapján minden időlépésre lefuttatja a kerékpármodellt és az abból kapott erők alapján kiszámítja a kerekekre ható nyomatékokat. A bemenetek tehát

- a kerék elfordulási szögeit tartalmazó vektor,
- az elfordulási szögek frekvenciája és
- a járműsebesség.

A kimenetek

- az első kerekekre ható oldalerőkből származó nyomatékok,
- az első kerekekre ható súrlódónyomaték és
- a felső kettő összege, azaz a tényleges kerekekre ható eredő nyomaték.

Az oldalerőkből származó nyomaték erőkhöz a kerék szögelfordulásával, míg súrlódónyomaték a kerekek szöggyorsulásával arányos. Ezek értékét lehet különböző szögekhez és szögsebességekhez felparaméterezni, ezáltal lehetséges a modell finomhangolása a mérési adatokhoz.

3. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Biao Ma, Yiyong Yang, Yahui Liu, Xuewu Ji and Hongyu Zheng: Analysis of vehicle static steering torque based on tire-road contact patch sliding model and variable transmission ratio, *Advances in Mechanical Engineering* **8(9)** (2016), 1–11.
- [2] Dong Cao, Bin Tang, Haobin Jiang, Chenhui Yin, Di Zhang and Yingqiu Huang: Study on Low-Speed Steering Resistance Torque of Vehicles Considering Friction between Tire and Pavement, *Applied Sciences* **9** (2019), 1–16.

Hibrid A* használata elosztott környezetrepresentációban

Use of Hybrid A* in distributed environment representation

Hajdu Csaba^a, Ballagi Áron^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont
hajdu.csaba@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási Tanszék
ballagi@sze.hu

Absztrakt: Napjainkban az autonóm járművek témaköre egy új ám kihívásokkal teli kutatási terület, amely a járműtechnológia és a robotika egyfajta multidiszciplináris szimbiózisaként kezelhető. A robotikában folyamatosan újonnan megjelenő érzékelési és döntéstámogató algoritmusok többsége kevés módosítással átemelhetők az autonóm járművek szoftverébe. Hasonlóképpen a járműveknél többnyire irányítástechnikai módszerek segítenek a robotok vezérlésének fejlesztésében is. Jelen cikk ennek a szimbiózisnak egy példa alkalmazását mutatja be. Az alkalmazás a jellemzően járművek pályatervezésénél használt Hibrid A* algoritmus kerül kiegészítésre a robotikában újonnan elterjedt elosztott érzékelési rendszerrel. Az architektúra egy jellegzetes újdonsága, hogy különálló lazán csatolt komponensként kezeli a környezet representációját. A végső cél egy lazán csatolt mozgástervező keretrendszer, amiben az egyes módszerek csereszavatosan kezelhetőek. A cikkben jövőbeli tervként felvázolásra kerül egy tanulási módszereket is integráló példány bemutatása, ami a felvázolt architektúra absztrakt tervére építkezik.

Kulcsszavak: mozgástervezés, elosztott rendszerek, környezetrepresentáció, autonóm járművek

Abstract: Nowadays the field of autonomous vehicles is a flourishing research area with yet unsolved challenges. The area can be defined as a symbiosis of vehicle technology and robotics research. The perception and decision-making algorithms appearing in robotics can be migrated to autonomous vehicles with little effort. Similarly, the new vehicle control methods aid the development of robots as well. This article presents a prime example of this symbiosis. The application combines the Hybrid A* algorithm widespread in vehicle applications with the more robotic research specific distributed perception system. The novelty of the presented architecture is that it uses loosely attached components for perception tasks. The final goal is a loose architecture with components of interchangeable methods. In this article, the future goal is outlined which combines learning methods based on the currently presented abstract architecture.

Keywords: motion planning, distributed systems, environment representation, autonomous vehicles

1. Bevezetés

Az autonóm járművek témaköre napjaink egyik leggyorsabban fejlődő kutatási területe. Nagyban építkezik az elmúlt évtizedek járműtechnológiai kutatásaira, ami az irányítástechnikát és az érzékelést illeti. Azonban az intelligens módszerekre és a döntéstámogatásra egyértelműen hatással voltak a robotikában korábban elért kutatások, amely bár egy régóta kutatott terület, napjainkban újra különös figyelmet kap. A két kutatási terület egyértelműen hatással van egymásra, egyfajta közeli szimbiózisban: a járművek esetében használt precíz irányítástechnika és a robotok esetében újonnan elterjedt elosztott megközelítés a szoftvert

illetően egyaránt segítik a fejlesztéseket mindkettő területen megbízhatóbb és összességében jobban teljesítő eredményekkel kecsegtetve. A két terület korlátai és problémái is jellemzően hasonló ok-okozattal jellemezhető. Ellentétben az általános gépi tanulási és mesterséges intelligencia problémákkal, a számítási erőforrások erősen korlátozottak. Szintén erős behatásként jelentkezik a fizikai környezet, ami különösen járművek esetében számottevő. Emellett nem elhanyagolható tényező az optimalitás kérdése sem, mind az időt, mind energiahatékonyságot figyelembe véve, így elvárás a nagyfokú precizitás a tervezést és a követést illetően. Ugyanakkor állandó hangolást is igényel, mivel mindkét esetben egy alapvetően sztochasztikus és nemdeterminisztikus környezetben kell az eszközöket működtetni. Jelen cikk a két terület eredményeit igyekszik egyesíteni egy járműipari alkalmazási területben, ami a Széchenyi István Egyetem autonóm tesztjárműve (Nissan Leaf). Ez a tesztjármű a ZalaZone Járműipari Tesztpályán végez el egy akadálykerülési feladatot. Az akadályokat a szoftver elosztott módon reprezentálja és geometriai reprezentációban, amin a döntési folyamatot – pályatervezést - végrehajtja. Az akadályok fő forrása egy LiDAR szenzor, ami egyszerű klaszterezési módszerrel detektálja az akadályokat.

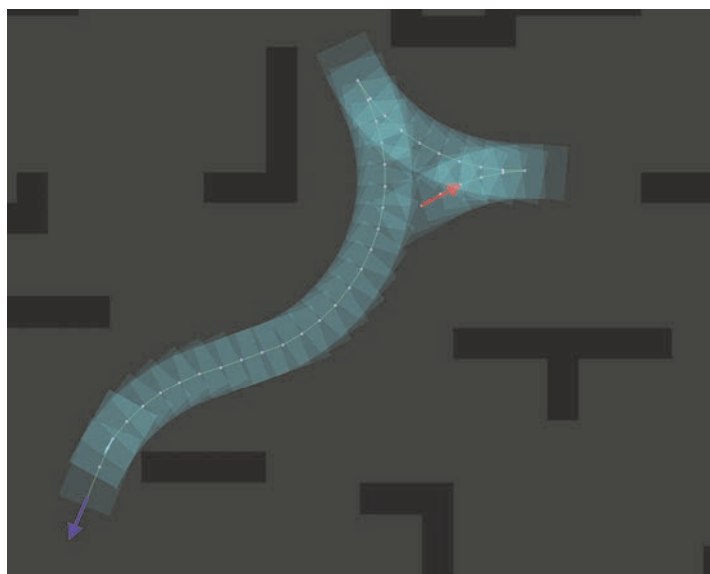
2. Kapcsolódó munka

A mozgástervezés egy évtizedek óta kutatott téma, jelentős felhalmozott eredményekkel [1]. A fő célja olyan algoritmusok kutatása, amelyek képesek olyan időzített pályának a tervezésére, amely a robotot/járművet annak kezdeti állapotából egy célállapotba juttatják el. Jellemző elvárás, hogy a tervezett trajektória időben optimális legyen és a környezetben észlelhető akadályokat kerülje ki. Alapvetően a módszerek mögött rejlő megközelítések szerint csoportosíthatóak ezek az algoritmusok. A hagyományos megközelítés szerint a döntési tér reprezentáló gráfban kell keresni egy optimális útvonalat egy gráfkeresési eljárás segítségével (pl. Dijkstra, A*). Egy másik megközelítés a döntési tér véletlenszerű mintavételezésével talál egy optimális akadálymentes útvonalat (pl. RRT algoritmus [2] és egyes változatai [3]). Szintén eredményes megközelítés az optimalizáción alapuló megközelítés, ami a kezdő- és célállapot között futó trajektóriát iteratíván közelíti egy optimális pálya előállítására. Tipikus példa erre a módszerre az elasztikus fonál módszer [4] és ennek újabb változata az idő-optimális elasztikus fonál [5], ami a járművekhez hasonló nem-holonóm robotok irányításában került eredményes alkalmazásra. A cikkben a Hybrid A* [6] algoritmus kerül alkalmazásra, ami egy kevert módszerként fogható fel. Ez a módszer klasszikus gráfkeresési eljárást alkalmaz egy ritka rács vagy geometriai reprezentáción. Az eredményül kapott trajektóriát finomítja úgy, hogy a jármű dinamikai modelljét felhasználva optimalizálja és közelíti úgy, hogy közben az észlelt akadályokat kikerülje. Az algoritmus futására egy példa implementációt mutat az 1. ábra.

A robotikai szoftverek fejlesztésében rendkívüli előre lépésnek tekinthető az elosztott architektúrák alkalmazása. Ez a megközelítés elősegíti az egyes megoldások flexibilis újrahasonosíthatóságát különböző doméneken. Jellemzően ilyen architektúra a Robot Operating System (ROS) [7] és annak továbbfejlesztése az ROS2 [8]. Utóbbi rendszernek jelentős fejlesztése, hogy teljesen elosztott módon (P2P kommunikációt használva), a Data Distribution Service-re építkezik. Ez egy kritikus pontja volt a korábbi verzióknak, mivel az a kommunikációra egy mester folyamatot (bróker) használt, ami jellemzően a rendszer single-point of failure (SPOF) része volt. Emellett főleg ipari alkalmazásokat céloztak meg, így előtérbe kerültek a biztonságos kommunikáció, a quality-of-service (QoS) beállítások és a valósidejű kommunikáció kérdései. Erre a kommunikációs keretrendszerre építkezve jelentek meg az autonóm járművek tématerületén is alkalmazható keretrendszerek. Ilyen például az Autoware.AI [9], amelyek az észlelés, mozgástervezés és a földrajzi információk kezelésére

adnak kész komponenseket. Ez a keretrendszer nagyban inspirálta a cikkben leírt mozgástervező rendszer alapjait is.

A környezetrepresentációban az egyik jelentős kérdés az akadályok jellemzőinek futásidejű tárolására használt struktúra kérdése. Az egyik legegyszerűbb megközelítés foglaltsági rácsként reprezentálni a környezetet [10], ami viszont tárhelyet tekintve nem a legoptimálisabb megoldás. Szofisztikáltabb módszer geometriai adastruktúraként reprezentálni, amelynek támaszt adott a számítógépes grafika, azon belül is az alakzatrekonstrukció [11]. Ilyen adatstruktúra például a kvadrofa [12], vagy annak kiterjesztése az oktofa, ami például 3D tér reprezentálására eredményes [13]. Más megközelítés mozgásprimitívek halmazaként ábrázolni a környezetet, ilyen reprezentációra építkezik például a D^* (Anytime A^*) algoritmus [14].



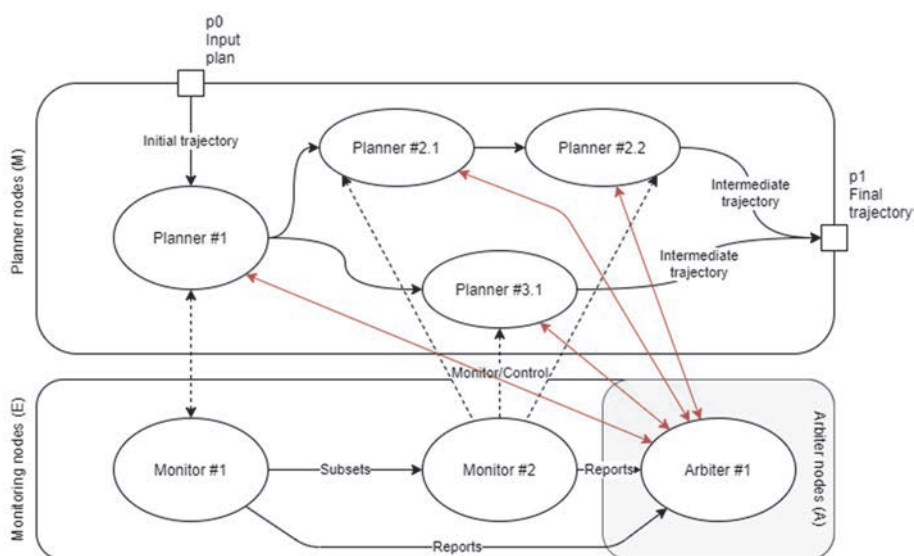
1. ábra: példa Hybrid A^* algoritmus implementációjára (forrás: https://github.com/karlkurzer/path_planner)

3. Architektúra

A cikkben bemutatott mozgástervező megvalósítást megelőzte egy architektúra kidolgozása. Az architektúrát egyrészt a kognitív pszichológia elterjedt irányzataként jelenlevő konneccionista modell, a már említett Autoware.AI keretrendszer és az Európai Robotikai Fórumon (ERF) 2020-ban az elosztott architektúrákat illetően foglalt irányelv inspirálta. Az architektúra alapötletei és kontextusa már publikálásra került [15]. Alapelve szerint a környezetrepresentáció és a mozgástervezés lazán csatolt architektúra különálló komponensenként, amelyek egy gráfalapú kommunikációs modellben vannak egymással összekötve (összefoglaló ld. 2. ábra). Ez a megközelítés illeszkedik az architektúra alapjául szolgáló kommunikációs keretrendszerekre, mint a Robot Operating System. A $G(M, E, A; U)$ gráfban a feladatok szerint a következő csoportokra oszthatóak a csomópontok:

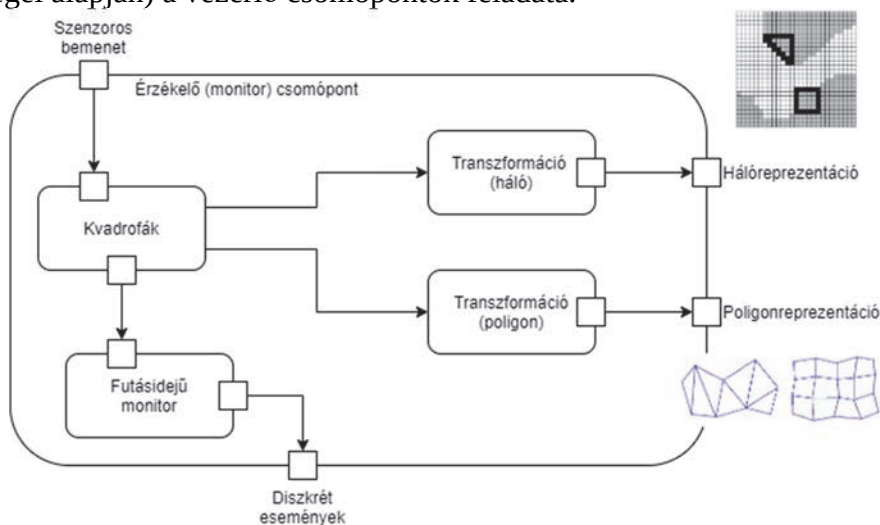
- **Mozgástervező csomópontok:** egy mozgástervező módszer implementációja. Minden mozgástervező csomópont ($m \in M$) egy trajektóriát ad eredményül és egy trajektóriát vár bemenetként, amin dolgozhat. Ez kiváló például az elasztikus fonál módszer integrálására, amelyik egy eredmény trajektórián dolgozik.
- Két kiemelt végpontunk van, bemenetként (p_0) ahol egy referenciatrajektóriát várunk (ez lehet egy kijelölt póz a térben), és a kimeneti pont (p_1) ahol a végső trajektóriát adjuk vissza a pályakövető vezérlési algoritmus számára.

- **Környezetreprezentációs csomópontok:** a környezetben detektált akadályok reprezentációjára alkalmas struktúra(rendszer) implementációja, ami lehet például egy kvadrofa vagy foglaltsági rács. Ezeken a csomópontokon ($e \in E$) keresztül biztosítható a mozgástervező csomópont számára (transzformációkon keresztül) a környezet egy (részhalmazának) reprezentációja, így az akadálymentes trajektória számítása. Emellett ezek a csomópontok egyfajta futásidejű monitorként is működnek, vagyis a környezet változásait figyelik az adott reprezentációban és jelzéseket indukálnak. Egy ilyen csomópont belső felépítésére (kvadrofa alapú reprezentáció) mutat példát a 3. ábra.
- **Vezérlő csomópontok:** a mozgástervező csomópontok jelzés alapján ki/be kapcsolhatók. A vezérlő csomópontok ($a \in A$) feladata az ($e \in E$) csomópontok által indukált jelzések figyelése és ez alapján a mozgástervező csomópontok ki- és bekapcsolása.



2. ábra: Gráfalapú mozgástervező architektúra

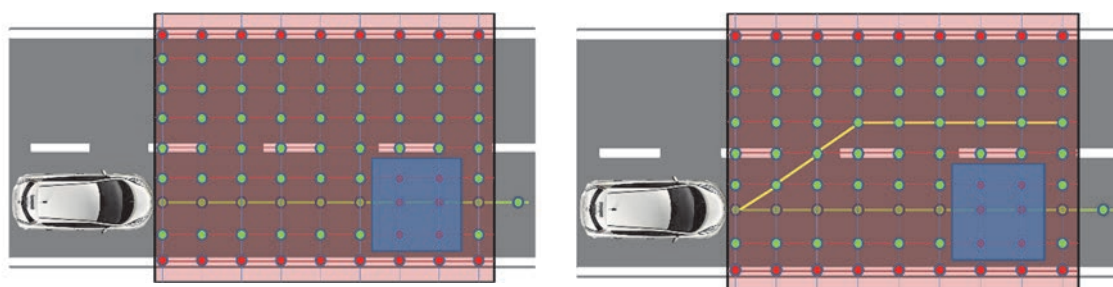
Ez a megközelítés lehetővé teszi viselkedések reprezentálását úgy, hogy azt a leírt gráf egy olyan újaként azonosítsuk, ami p_0 és p_1 között fut az M részgráfban. Nyilvánvalóan egyidőben több ilyen útvonal létezhet, ezekből az optimális kiválasztása (az észlelt környezet jellegzetességei alapján) a vezérlő csomópontok feladata.



3. ábra: elosztott környezetreprezentáció egy csomópontja

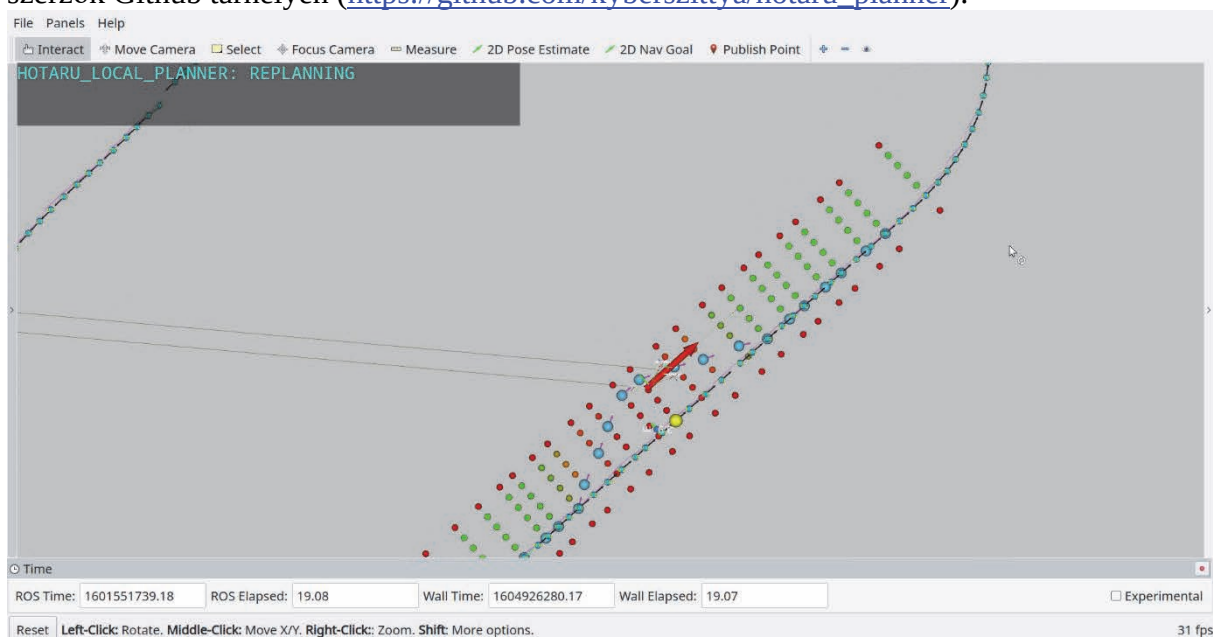
4. Implementáció & Eredmények

A cikk megírásakor már beszámolhatunk előzetes eredményekről. A Hibrid A* algoritmust úgy változtattuk meg, hogy az kifejezetten a jármű környezetére használatos legyen. Felhasználtuk azt is, hogy a referencia-trajektória sokszor explicit módon rendelkezésre áll, ami nagyban illeszkedik a majdani környezet útvonalára. A referencia trajektória alapján a háló egy Catmull-Rom görbe [16] alapú háló tesszelációt hozunk létre, ami a környezet egy ritka reprezentációját adja meg. Ez alapján hajtható végre az útvonaltervezés egyszerű gráf-alapú módszer segítségével, amit a jármű dinamikai modelljével egészítettünk ki a kifejtési heurisztikájában. Az eredményül kapott trajektóriát Bézier-görbeként interpoláltuk.



4. ábra: trajektória tervezése tesszelált hálón

Az alapelv működőképes volt szimulátorban (Gazebo alapú [17]), ahol a naív Python-alapú implementáció ~10-20 ms körül teljesített. Valós adathalmazokon hasonló teljesítményt adott vissza. A működésre egy példát az 5. ábra mutat. Az implementáció nyomon követhető a szerzők Github tárhelyén (https://github.com/kyberszittya/hotaru_planner).



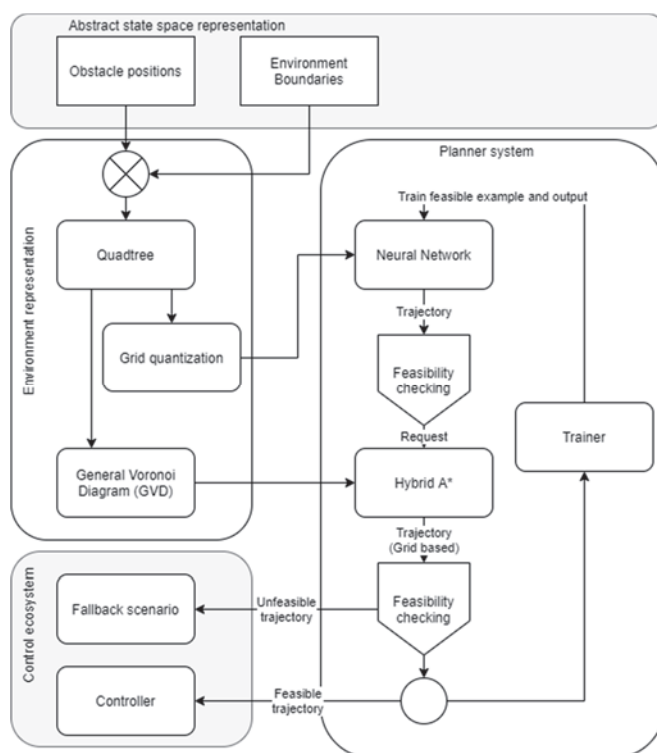
5. ábra: működés valós adathalmazon

5. Konklúzió

Jelen cikk bemutatott egy multidiszciplináris alkalmazását a mozgástervezésnek és egy kidolgozás alatt álló architektúra egy példányát. Az architektúrát a jelenleg elterjedt és népszerű

paradigmák és módszerek ihlették. A mozgástervezőt elsősorban autonóm járművekre fejlesztettük ki. Szimulációban a naív megvalósítás körülbelül a ma népszerű algoritmusok teljesítményét hozza.

A továbbfejlesztés pont egy mobil robotokra történő kiterjesztést célozna meg. Ehhez elsősorban a dinamikai modell kell paraméterezhetővé tenni, hogy egy mobil robot viselkedését lehessen közelíteni. Emellett az architektúrát is úgy lehetne megváltoztatni, hogy a tanulási módszereket explicit lehessen alkalmazni, ám egy biztonságos tanulási módon. Alapfelvetés, hogy egy reprezentációhoz egy trajektóriát társítunk tanulással. Amennyiben ez a terv nem eredményez adott detektált környezet reprezentáció mellett biztonságos útvonalat, explicit módon tervez és tanul egy új útvonalat. Erre a módszerre mutat egy előzetes tervet a 6. ábra.



6. ábra: mozgástervező példányának továbbfejlesztése biztonságos tanulást ötvözve

Tisztán technikai továbbfejlesztés a jelenlegi ROS alapú implementációról áttérés ROS2-re. Ez üdvözlendő lenne mind mobil-robotos, mind autonóm járműves alkalmazásokban is, annak előnyeit figyelembe véve (biztonságosság, valós-idejű kommunikáció).

6. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] S. M. LaValle, Planning Algorithms. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2006.
- [2] S. M. Lavalle, “Rapidly-Exploring Random Trees: A New Tool for Path Planning,” 1998.
- [3] A. Perez, R. Jr, G. Konidaris, L. Kaelbling, and T. Lozano-Perez, “LQR-RRT * : Optimal Sampling-Based Motion Planning with Automatically Derived Extension Heuristics,” Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom., pp. 2537–2542, 2012, doi: 10.1109/ICRA.2012.6225177.
- [4] S. Quinlan and O. Khatib, “Elastic bands: connecting path planning and control,” in [1993] Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1993, pp. 802–807 vol.2.
- [5] C. Rösmann, F. Hoffmann, and T. Bertram, “Kinodynamic trajectory optimization and control for car-like robots,” in 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Sep. 2017, pp. 5681–5686. doi: 10.1109/IROS.2017.8206458.
- [6] D. Dolgov, S. Thrun, M. Montemerlo, and J. Diebel, “Practical Search Techniques in Path Planning for Autonomous Driving,” AAAI Workshop - Tech. Rep., 0 2008.
- [7] M. Quigley et al., “ROS: an open-source Robot Operating System,” 2009.
- [8] Y. Maruyama, S. Kato, and T. Azumi, “Exploring the performance of ROS2,” in Proceedings of the 13th ACM SIGBED International Conference on Embedded Software (EMSOFT), 2016, pp. 1–10.
- [9] S. Kato et al., “Autoware on Board: Enabling Autonomous Vehicles with Embedded Systems,” in 2018 ACM/IEEE 9th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPs), Apr. 2018, pp. 287–296. doi: 10.1109/ICCPs.2018.00035.
- [10] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents). The MIT Press, 2005.
- [11] P. Frey and L. Marechal, “Fast Adaptive Quadtree Mesh Generation,” Proc. 7th Int. Meshing Roundtable, 0 2000.
- [12] R. A. Finkel and J. L. Bentley, “Quad trees a data structure for retrieval on composite keys,” Acta Inform., vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 0 1974, doi: 10.1007/BF00288933.
- [13] J. Berrio, W. Zhou, J. Ward, S. Worrall, and E. Nebot, “Octree map based on sparse point cloud and heuristic probability distribution for labeled images,” 2018. doi: 10.1109/IROS.2018.8594024.
- [14] M. Likhachev, D. Ferguson, G. Gordon, A. Stentz, and S. Thrun, “Anytime Dynamic A*: An Anytime, Replanning Algorithm,” in Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS), 2005, pp. 262–271.
- [15] C. Hajdu and Á. Ballagi, “Proposal of a Graph-based Motion Planner Architecture,” in 2020 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications

(CogInfoCom), 2020, pp. 000393–000398. doi:
10.1109/CogInfoCom50765.2020.9237891.

- [16] E. Catmull and R. Rom, “A CLASS OF LOCAL INTERPOLATING SPLINES,” in Computer Aided Geometric Design, R. E. BARNHILL and R. F. RIESENFELD, Eds. Academic Press, 1974, pp. 317–326. doi: 10.1016/B978-0-12-079050-0.50020-5.
- [17] N. Koenig and A. Howard, “Design and Use Paradigms for Gazebo, An Open-Source Multi-Robot Simulator,” in In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004, pp. 2149–2154.

Trajektória tervezése ROS rendszerbe integrálva autonóm jármű parkolási feladatához

Trajectory planning for parking maneuvers integrated into ROS environment

Ignéczi Gergő Ferenc^a

^aJárműipari Kutatóközpont

gergo.igneczi@ga.sze.hu

Absztrakt: A feladat során egy általános trajektória tervező algoritmus készült el, mely képes egy jármű parkolási feladatához előállítani a teljes manőver során befutni kívánt pályavonalat. A pályavonal áll azon diszkrét pontok halmazából, melyeket a jármű érint míg a kezdőpontból a célpontba elér, továbbá minden egyes pontban a jármű cél orientációjából továbbá a kívánt sebességből. A tervező algoritmus fő bemenete a célpozíció koordinátái továbbá a célpontban vett járműorientáció, a jármű aktuális (tervezés pillanatában vett) mozgásállapota továbbá a jármű pozíciója a globális koordinátarendszerben. Az algoritmus alapja egy polinom illesztés, mely során egy ötödfokú polinom kerül meghatározásra, figyelembe véve a kezdő és végpontban adott peremfeltételeket. Ezen peremfeltételek adódnak a pozícióból, továbbá a pálya pozíció szerinti deriváltjaiból, azaz az orientációkból és a görbületekből. Az így kapott polinom együtthatóit kiértékeljük diszkrét pontokban, melyek távolsága egy előre definiált érték. Az így kapott egyenletesen elhelyezkedő pontokban meghatározzuk a célorientációkat, mint a görbe adott pontban vett első pozíció szerinti deriváltját, továbbá egy egyszerű sebesség trajektóriát is, melynek során külön figyelembe vesszük a maximális gyorsulás és lassítás értékeket. A feladat további előnye, hogy az algoritmus Matlab/Simulink program segítségével készült el, mely így könnyen fejleszthető és tesztelhető, továbbá kihasználva a Matlab beépített Robot Operating System (ROS) illetve Autoware eszközkészletét az algoritmus mint külön ROS csomópont integrálható egy nagyobb autonóm járműirányítási rendszerbe.

Kulcsszavak: trajektória tervezés, ROS, felsőszintű irányítás, mozgásszabályzás

Abstract: Within the task a general planner algorithm was introduced, which is able to produce the desired path to be run during an entire parking maneuver of a four-wheel vehicle. The path consists of the group of discrete points, which are touched by the vehicle from the starting point until the end position, additionally the goal orientation and the target speed in each of these goalpoints. The main inputs of the planner algorithm are the coordinates of the goal point, the target orientation, the actual (in the time of the planning) motion state of the vehicle and the position of the vehicle in the global coordinate frame. The base of the planning is polynomial fitting function, which includes the coefficient calculation of a fifth-order polynomial. This method considers the boundary conditions given in the starting and the end point. These conditions are originated from the position targets, and derivative targets which are the orientation and curvature. The coefficients are then evaluated in a set of discrete points, whose distance is a pre-defined value. Also, in the given equi-distant points the target orientation and speed values are also calculated. The orientation is calculated as the first numerical derivation of the position function, the target speed is part of a simple speed profile, which considers the maximum acceleration and deceleration values. A further advantage of this task is, that the algorithm is designed in Matlab/Simulink platform which is therefore easy to test and develop, and utilising the built-in Matlab support of Robot Operating System (ROS) and the Autoware Auto toolbox, the produced algorithm is easy to integrate as a separate ROS node into a more complex autonomous control system.

Keywords: trajectory planning, ROS, higher level control, motion control

1. Bevezetés

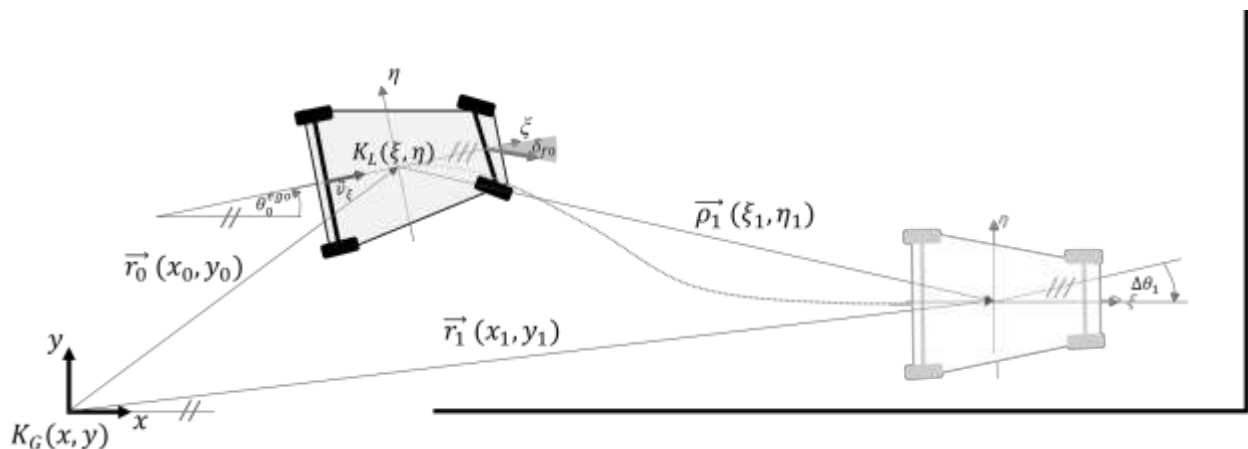
A járműirányítási rendszerek mozgásszabályozási rétegének egyik első feladata egy olyan pálya megtervezése, mely figyelembe veszi a jármű aktuális illetve célállapotát (cél pozíció, esetleg orientáció), a jármű kinematikai tulajdonságait (a pálya a mozgás szempontjából megvalósítható kell, hogy legyen), illetve bizonyos környezeti információkat (szabad terület határai). Ennek eredménye egy kétdimenziós görbe koordináta halmaza, továbbá figyelembe véve a névleges gyorsulás és lassulás értékeket egy általános sebesség görbe, mely bemenetként szolgál a longitudinális szabályozónak. Ez a trajektória tervező algoritmus általában egyszer fut le, és a manőver teljes egészére előállítja a pálya pontjait. Amennyiben a környezeti viszonyok megváltoznak – például akadály kerül a pályára, vagy megváltozik a célállapot -, avagy a szabályozó nem képes lekövetni a pályát és így a hiba elnö, úgy lehetőség van a megváltozott viszonyok között újratervezést kérni.

Az autonóm járműirányítási rendszerek komplex architektúrával rendelkeznek, melyek esetében fontos az egyes rétegeket képező komponensek rugalmas kapcsolódása, továbbá az irányítási és érzékelési feladatok jó elkülönítése. Több felépítés is létezik, melyek közül az egyik leginkább megfelelő architektúrát az ún. Robot Operating System (ROS) szolgáltatja. A cikkben leírt tervező algoritmus is egy teljes autonóm láncba kapcsolódik, mely az ROS alapjaira épül. A fejlesztés szempontjából is nagy előnye az ROS rendszernek, hogy több általános fejlesztőeszköz is támogatja használatát. Jelen algoritmust Matlab/Simulink segítségével állítottam elő, mely egy jól vizualizálható és tesztelhető felületet nyújt, és az így elkészített modell közvetlenül fordítható C++ nyelvre, mely aztán integrálható tetszőleges ROS rendszerbe, amelyben a felhasznált topikok rendelkezésre állnak.

Jelen cikkben részletezem a trajektória tervezés be- és kimeneteit, a tervezés alapjául szolgáló összefüggéseket, a kiegészítő függvényeket, továbbá röviden kitérek az integrálhatóság kérdéskörére is.

2. A trajektória tervezés alapjai

Ebben a fejezetben bemutatásra kerül a pálya megtervezésének alapkoncepciója, továbbá a tervezés legfőbb be- és kimenetei. Kitérek a peremfeltételek meghatározására továbbá megadom a polinom együtthatók meghatározásához szükséges főbb összefüggéseket.



1. ábra: alap tervezési feladat

Az alapprobléma az 1. ábrán látható. Adott egy kezdeti feltétel halmaz, mely magában foglalja a jármű főbb állapotjelzőit. Ezek elsősorban a jármű pozíciója és a kezdeti orientációja a $K_G(x, y)$ globális koordináta-rendszerben, a jármű sebessége a $K_L(\xi, \eta)$ lokális koordináta-rendszerben, továbbá a jármű kezdeti, középre redukált út-kerék szöge. A számítások során feltételezzük, hogy a kerekek oldalirányú szlip értéke elhanyagolható, és így igaz a következő feltételezés:

$$\operatorname{tg}(\delta_f) = \frac{L}{R} = L\kappa \quad (1)$$

Az (1) összefüggést kihasználva, amennyiben ismert a jármű tengelytávja, úgy meghatározható a kezdeti kormányzószögből a jármű által befutott pálya aktuális görbülete. A tervezéshez másik bemenete egy célállapot halmaz, amely ugyanazon mennyiségeket tartalmazza, mint a kezdeti feltétel halmaz. Ennek az előállítás a térérzékelés funkció feladata. Így a végállapot részeként adott a kívánt pozíció a $K_L(\xi, \eta)$ lokális koordináta-rendszerben, a célorientációhoz képest vett orientációs hiba, azaz $\Delta\theta_1$. A kezdeti és a végfeltételek összességében jelentik a tervezési feladat peremfeltételeit.

A cél, hogy az így meghatározott állapotba jutassuk el a járművet egy olyan útvonalon, mely nem támaszt teljesíthetetlen feladatokat a szabályzó elé, és kielégíti a peremfeltételeket. A görbét diszkrét pontok halmazaként kell előállítani, ahol bármely két pont között megtett út a görbe mentén állandó kell legyen. A diszkrét pontok koordinátáit végül a $K_G(x, y)$ globális koordináta-rendszerben kell megadni. Azonban a rendszer bemenetei elsősorban az autóhoz rendelt $K_L(\xi, \eta)$ lokális koordináta-rendszerben adottak, így a tervezést ebben a rendszerben végezzük, majd az utolsó lépésként a jármű aktuális állapotát figyelembe véve transzformáljuk át a célpontokat a globális koordináta-rendszerbe.

További követelmény az elkészülő algoritmus felé, hogy az illeszkedjen egy Robot Operating System (továbbiakban ROS) rendszeren alapuló irányítási rendszerbe. Ez a struktúra az Autoware Auto szabványosított ROS üzeneteit használja. Kimenetként az autoware_msgs/lane típusú üzenet áll elő, mely attribútumai közül elő kell állítani a következő mennyiségeket:

- Pose – a jármű X-Y-Z pozíciója, mely megegyezik a tervezett trajektória diszkrét pont-halmazának koordinátaival, ahol egységesen
 $Z \equiv 0 \text{ m}$
- Orientation – a jármű cél orientációja quaternion (X,Y,Z,W) formában. A diszkrét pont-halmazból álló görbéből a célorientációk egyértelműen meghatározhatók
- Twist – Long: hosszirányú sebesség célérték. Ehhez a teljes megtett útra meghatározunk egy sebesség profilt, ahol a gyorsítási és lassítási értékek parametrizálhatók

A fentebb említett bemeneti feltétel halmaz esetében is szükség van a célorientáció átalakítására, hogy megkapjuk a θ_0^{ego} és $\Delta\theta_1$ elfordulás értékeket az Euler koordináták szerint, mivel az orientációk az Autoware szabványosított üzeneteken belül egységesen quaternionokként adóttak. Az átszámolások Euler – Quaternion és Quaternion-Euler esetben a következő egyenletek szerint számolhatók:

$$\theta_{Euler} = \operatorname{atan}\left(\frac{2(q_1q_2+q_3q_4)}{1-2(q_2^2+q_3^2)}\right) \quad (2)$$

$$\text{Ahol: } Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ 0 \\ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

A trajektória pontokat úgy határozzuk meg, hogy minden tekintetben kielégítse a peremfeltételeket. A választott görbe egy ötödfokú polinom. A fokszám megválasztásánál elsősorban az játszott szerepet, hogy a görbe fokszáma kellően magas legyen ahhoz, hogy rugalmasan tervezhető legyen a pálya, azaz egyenes pálya nem elfogadható, a másodfokú görbe esetén a görbe konvexitása nem változtatható. Harmadfokú görbe már kielégítő teljesítményt adhat, azonban figyelembe véve, hogy később az algoritmust tovább bővíthetjük egy optimalizációs résszel, ahol a több tervezett görbéből kell kiválasztani a legmegfelelőbbet, az ötödfokú polinomot választottuk. Ennek oka, hogy az optimalizáció során legtöbbször a gyorsulás deriváltját, azaz a pozíció harmadik deriváltját szokás alapul venni, ennek a mennyiségnek a neve: jerk. Harmadfokú polinom esetén a jerk konstans lesz, míg ötödfokú polinom esetén egy parabola. Mivel a használt rendszer számítási kapacitását figyelembe véve a magasabb fokszámú polinom számítás nem jelent túlterhelést, ezért ezt választottuk. A trajektória görbe alakja tehát:

$$d(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 \quad (4)$$

A deriváltak:

$$d'(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + 4a_4x^3 + 5a_5x^4 \quad (5)$$

$$d''(x) = 2a_2 + 6a_3x + 12a_4x^2 + 20a_5x^3 \quad (6)$$

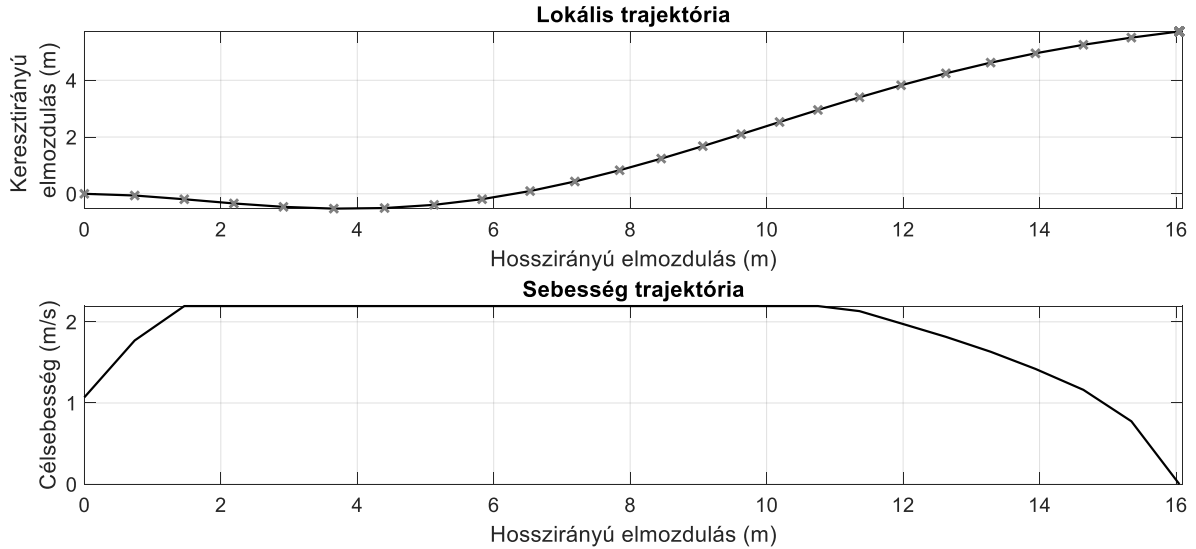
Ez 6 db ismeretlen együtthatót jelent, ehhez 6 db peremfeltételre van szükségünk. Amennyiben $\rho_1(\xi, \eta) = [S_1 \ D_1]$, úgy a peremfeltételek a fentebb említett megfontolások alapján:

$$\begin{aligned} d(0) &= 0 = a_0 \\ d'(0) &= 0 = a_1 \\ d''(0) &= \frac{\kappa_0}{2} = \frac{1}{2L} \operatorname{tg}(\delta_{f0}) = a_2 \\ d(S_1) &= D_1 \\ d'(S_1) &= m_1 = \operatorname{tg}(\Delta\theta_1) \\ d''(S_1) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

A kezdeti feltételekből a_0 , a_1 és a_2 meghatározható. a_3 , a_4 és a_5 meghatározása a végfeltételek alapján lehetséges, ezt lineáris egyenletrendszer formájába rendezve:

$$\begin{bmatrix} S_1^3 & S_1^4 & S_1^5 \\ 3S_1^2 & 4S_1^3 & 5S_1^4 \\ 6S_1 & 12S_1^2 & 20S_1^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ tg(\Delta\theta_1) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Az így megtervezett trajektória minden esetben kielégíti a peremfeltételeket, és lehetőségünk van arra, hogy tetszőleges x koordinátahalmazon kiértékeljük.



2. ábra: lokális koordinátarendszerben tervezett trajektória

A 2. ábrán látható egy példa az autó saját koordinátarendszerében megtervezett trajektóriáról. A megtett út hosszirányban kicsit több, mint 16 méter, az oldalirányú elmozdulás valamivel kevesebb, mint 6 méter. Az orientáció a célpontban 0.2852 radián. Látható, hogy a pálya már a célpont előtt is megfelelő meredekséggel rendelkezik ahhoz, hogy a célpontot stabilan el tudjuk érni. Ez azt jelenti, hogy a célpozícióba közel egyenes pályán állunk be. A görbe együtthatói:

$$[a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5] = [0 \ 0 \ -0.1338 \ 0.0335 \ -0.0023 \ 0]$$

A peremfeltételek, amelyek segítségével a görbe együtthatóit számoltuk:

$$[\xi_0 \ \eta_0 \ \Delta\theta_0 \ \kappa_0 \ \xi_1 \ \eta_1 \ \Delta\theta_1 \ \kappa_1] = \left[0m \ 0m \ 0rad \ -0.1338 \frac{1}{m} \ 16.3232m \ 5.8008m \ 0.2855rad \ 0 \frac{1}{m} \right]$$

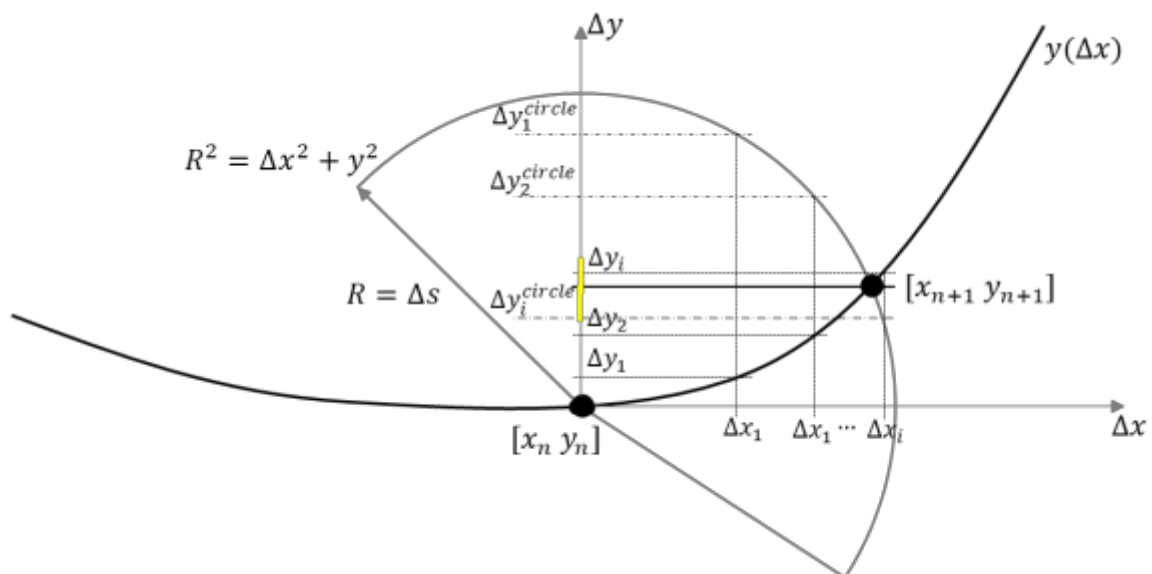
Látható, hogy a megtervezett trajektória kezdetben az ellentétes irányban indul el, majd nagyjából 4 méter megtétele után kanyarodik rá a célpontra. Ennek oka, hogy a kezdeti feltételek szerint a jármű kormánysszöge épp negatív, azaz a haladási irányban nézve jobb irányba kanyarodik. Ezt kényelmesen kompenzálja a tervező és ír elő balra fordulást. Kezdetben a jármű tartja a pillanatnyi orientációját, emiatt sima szabályzást tesz lehetővé az így megtervezett trajektória. A sebesség profil kezdeti pontja az aktuális sebesség, ami ez esetben valamivel több, mint $1 \frac{m}{s}$. Ezek után az előre definiált maximális gyorsulás értékkel érjük a maximális sebességet, ezek után az előírt maximális lassulással közelítjük meg a célpontot, végül a jármű megáll.

Az algoritmust kiegészítettük egy logikával, amely meggátolja, hogy egy minimálisnál kisebb céltávolság esetén a tervezés megvalósuljon, ugyanis ebben az esetben a tervezés nem fog kielégítő eredményt adni. Ennek a távolságnak az ajánlott értéke minimum kétszerese a diszkrét pontok közötti távolságnak.

Az ebben a pontban ismertett módszer az alapja a tervezésnek, amit ki kell egészíteni további funkciókkal ahhoz, hogy a teljes rendszerbe lehessen integrálni, továbbá ahhoz, hogy a működés minél inkább robosztusabb legyen. Ahhoz, hogy a megfelelő formában összeálljon a kimenet, amelyek diszkrét pontokból áll, a fentebb meghatározott együtthatókat ki kell értékelni egy független változó halmazon, amely választásunk alapján a hosszirányú elmozdulás a menőver alatt. Ahhoz, hogy bármely két pont között a görbén való elmozdulás során megtett út azonos legyen, egy kisebb algoritmust hozunk létre, amely meghatározza ezeket az ekvidisztáns pontokat. A biztonsági szempontokat figyelembe véve szükség van ezen kívül egy limitációs funkcióra, amely kiszűri azon trajektóriákat, amelyek nem felelnek meg a korlátos kinematikai feltételeknek. Ennek a részleteit a 3. pontban részletezem.

3. A trajektória kiértékelése és limitáció

Ebben a fejezetben kifejtem, milyen kiegészítő funkciókat tartalmaz a trajektória tervező. Megadom a polinom kiértékeléséül szolgáló ponthalmazt, és ezen ponthalmaz meghatározásához használt összefüggéseket, továbbá a pálya ellenőrzésének lépéseit limitáció formájában. Utolsó lépésként bemutatom a lokális koordináta-rendszerben megtervezett görbe transzformációját a globális koordináta-rendszerbe.



3. ábra: approximációs eljárás az egyenlő távolságú pontok meghatározásához

A 2. pontban bemutatott számítási megoldások eredménye egy polinom, melynek együtthatói adottak. A cél, hogy képezzünk egy X-Y pontpárokból álló tömböt, ahol a pontok között, a pályán befutott út hossza bármely két pont között megegyezzen, ennek értéke egy előre definiált távolság legyen. A szimulációk során ez az érték 0.75 m . Ezen távolságot a legegyszerűbben numerikusan, approximációs eljárás segítségével kereshetjük meg. A megoldás illusztrációját a 3. ábra mutatja. Az implementált algoritmus fő lépései a következők:

- előző trajektória pont meghatározása (kezdetben ez a $[x_0 \ y_0] = [0 \ 0]$ pont)
- egy $R = \Delta s$ sugarú kör képzése

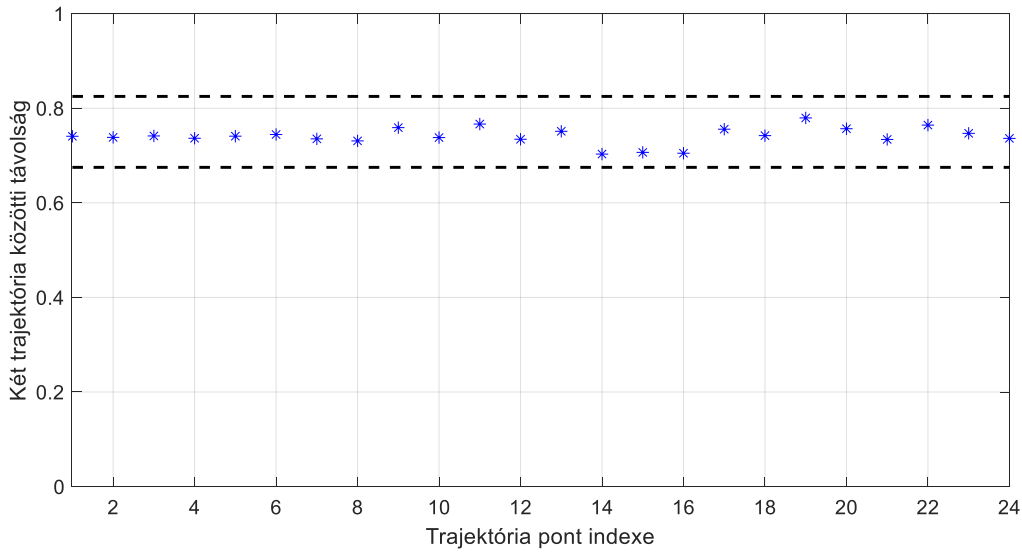
- $\Delta x - \Delta y$ növekmény koordináta-rendszer elhelyezése az előző trajektória pontba
- iteratíván keressük azt a Δx értéket, amely esetén

$$|\Delta y_i(\Delta x_i)| - |\Delta y_i^{circle}| = |(y(x) - y_n)| - |(\sqrt{R^2 - \Delta x^2})| \leq \alpha R \quad (9)$$

Ahol $0 < \alpha < 0.5$ tetszőlegesen kalibrálható pontossági arányszám. Az arányszám maximális értéke azért 0.5, mert az iteratív algoritmus alapja a keresési tartomány folyamatos felezése, és ha $\alpha \geq 0.5$, így már számolás nélkül az első iteráció során teljesül a feltétel. A pontosságot a kért lépésköz függvényében határozzuk meg. Az iteráció kezdeti lépésénél $\Delta x_1 = \frac{R}{2}$, minden iteráció után felezzük a távolság növekményt, azaz:

- amennyiben $|\Delta y_i(\Delta x_i)| - |\Delta y_i^{circle}| > \alpha R$, úgy $\Delta x_{i+1} = \Delta x_i - \frac{\Delta x_i - \Delta x_{i-1}}{2}$
- amennyiben $|\Delta y_i(\Delta x_i)| - |\Delta y_i^{circle}| < \alpha R$, úgy $\Delta x_{i+1} = \Delta x_i + \frac{\Delta x_i - \Delta x_{i-1}}{2}$

Ezzel a megoldással α függvényében kellően jó pontosságot tudunk elérni. Mindezt a teljes távolság intervallumon elvégezve megkapjuk azon diszkrét X pontok halmazát, amelyen kiértékelve a trajektória polinomot bármely két pont között közel azonos hosszú befutott útat kapunk.



4. ábra: diszkrét pontok közötti távolság

A 2. pontban bemutatott példára kiszámolva, $\alpha = 0.1$ paraméter választással a pontok közötti távolságértékeket a 4. ábrán láthatjuk. Ezzel a megoldással egy gyors módszert alkottunk, amely képes a pontossági határon belül meghatározni a diszkrét pontokat. A maximális abszolút eltérés mértéke 3.93%, így legrosszabb esetben is 0.0295 m eltérést okozunk. Ez – figyelembe véve a szabályzó teljesítményét és a GPS adatok pontosságát – kielégítő eredmény. Természetesen az iteráció során tekintettel vagyunk arra, hogy egy maximális iterációs szám felett a ciklus leálljon. Ez esetben nagyon alacsony pontosságot határoztunk meg, amely miatt így csak túlzott számítási igény esetén lehetne a megoldást megtalálni. Ekkor a legutolsó érvényes távolságértéket őrizzük meg.

A másik fontos észrevétel, hogy ezzel az eljárással nem tudjuk előre meghatározni a diszkrét pontok számát, ez nagyjában függ a lépésköz mértékétől és a célpont távolságától. Ezen túl a Matlab fejlesztői környezet nem is támogatja a dinamikusan változó tömbök használatát a már kifordított kódban. Emiatt egy előre meghatározott méretű tömböt töltünk fel mindaddig, amíg érvényes pontot találunk. Ez a tömb – figyelembe véve a lépésköz várható értéktartományát és a maximális célpont távolságot, ami rendre 0.5 m és $50\text{ m} - 100$ elemből áll maximum. A 4. ábrán látható példában összesen 24 db pontot tudunk felrajzolni, ami figyelembe véve a beállított $\Delta s = 0.75\text{ m}$ lépésközt, és a $S_1 = 16\text{ m}$ hosszirányú elmozdulás értéket, elfogadható mennyiségnek tekinthető. Emellett előállítjuk a tömb valódi hosszát, és a továbbiakban ezt a számot is használjuk, például a sebességtrajektória létrehozásánál. Így egy statikusan definiált tömböt használunk, dinamikusan változó tényleges tartalom hosszal.

Ahogy az a 2. pontban is említettem, a kimeneti üzenet része a célpozíciók mellett a minden egyes ponthoz hozzárendelt célorientáció is. Erre azért van szükség, mert a pályakövető model-prediktív szabályzó egyszerre a szabályozza a jármű pozícióját és orientációját is. A szabályzási feladat tekintetében ez egy logikus követelmény, hiszen a pozíció hiba zérus értéke önmagában még nem mutatja meg a jármű helyes viselkedését, hiszen emellett a jármű tetszőleges orientációval is rendelkezhet, így a következő időpillanatban nincs garancia arra, hogy a megfelelő irányban halad tovább. A szabályzás leírása nem része ennek a cikknek, azonban annak követelményeit fontos megérteni, hiszen az kihatással van a jelen tervező algoritmus működésére is. Ahhoz, hogy a célorientációt quaternion formájában meg tudjuk adni, a (3) egyenlet szerint szükség van az orientációs szög meghatározására, mely gyakorlatilag a trajektória adott pontjába húzott érintő meredekségéből számolható. Ehhez egyszerűen képzem a görbe első numerikus deriváltját minden egyes pontban. Ehhez természetesen minimum kettő pontra van szükségünk, mely feltétel a korábban leírt minimum távolság feltétellel teljesül is. Ezért fontos, hogy a minimum tervezhető távolság legalább a lépésköz kétszerese legyen.

A limitációra elsősorban azért van szükség, hogy kiszűrjük azokat az eseteket, amelyeknél olyan trajektóriát kapunk, amik nem felelnek meg valamilyen kinematikai feltételnek. Ez kizárólag azt jelenti, hogy a trajektória által előírt maximális orientáció eltérés a kezdethez képest nem lehet egy megadott értéknél nagyobb, továbbá a trajektória nem tartalmazhat olyan görbületeket, amelyek nem teljesíthetők a jármű által, például a maximálisan elérhető kormánysszög miatt. Amennyiben mégis ilyen trajektóriát találunk, úgy annak értékét a limitáló blokk felülírja egy kizárólag nullákat tartalmazó tömbbel. Ezen kívül nem adunk meg külön pozíció korlátot, amennyiben a célpont és az egyéb korlátok meghatározása sikeres, úgy a görbe biztosan a megengedett területen belül fut.

A trajektória kiértékelés utolsó lépéseként, a már limitált és diszkrét pontokon kiértékelt trajektória ponthalmazát a járműhöz rendelt lokális koordináta-rendszerből transzformáljuk a globális koordináta-rendszerbe. Ez egy kétdimenziós transzformációt jelent, ahol szükségünk van a jármű aktuális helyzetére, mint pozíció és orientáció. Ennek segítségével a transzformáció egyértelműen elvégezhető a következő módon:

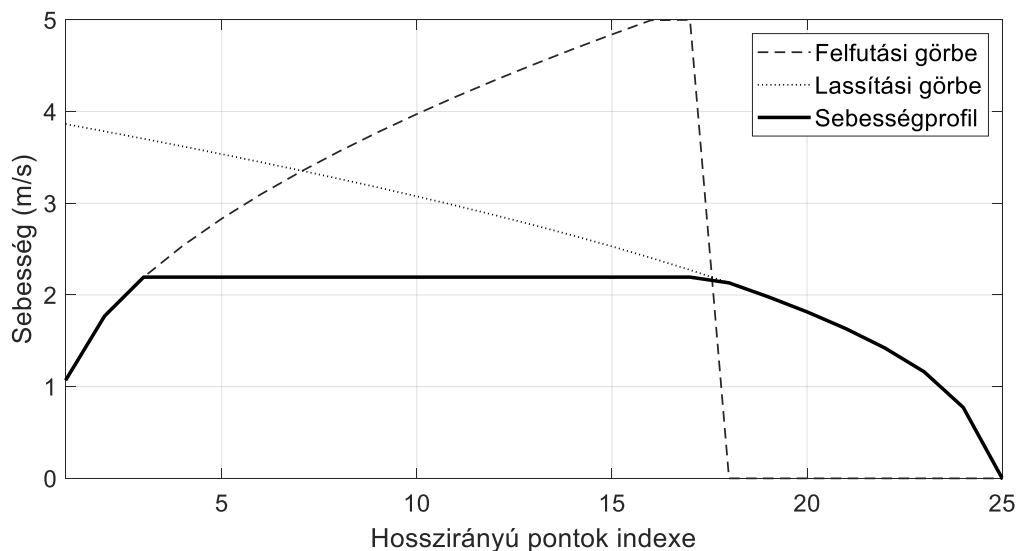
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{K_G} = \begin{bmatrix} \cos(\theta^{ego}) & -\sin(\theta^{ego}) \\ \sin(\theta^{ego}) & \cos(\theta^{ego}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}_{K_L} + \begin{bmatrix} X_0^{ego} \\ Y_0^{ego} \end{bmatrix}_{K_G} \quad (10)$$

Először egy elforgatást végzünk, majd a két koordináta-rendszer közötti eltolást. Az ehhez szükséges bemeneteket a vehicle_state ROS üzenet tartalmazza. A célorientációt korábban szintén az autóhoz rendelt lokális koordináta-rendszerben határoztuk meg, így ezt is transzformálnunk kell a világ koordináta-rendszerbe. Ez egyszerűen egy elforgatással történik,

és mivel az orientáció egy egy dimenziós változó, az elforgatás egy összeadássá egyszerűsödik. Az így előálló pozíció és orientáció tömböket hirdetjük, mint a tervező algoritmus kimenetei. A transzformációhoz nagy segítségünkre van, hogy az ROS kizárólag SI mértékegységeket használ, így a világ koordináta-rendszerben adott globális pozíciók mindig méter mértékegységűek, így külön átszámításra a transzformáció elvégzéséhez nincs szükség.

4. A sebességtrajektória meghatározása

Ebben a fejezetben bemutatom, hogyan számolom a manőverre vonatkozó általános sebességtrajektóriát. A cél, hogy minden egyes manőverhez meghatározható legyen egy sebességprofil, melyet a szabályzó logika képes minimális hibával lekövetni. Ehhez figyelembe kell venni a jármű által maximálisan elérhető gyorsulást és lassulást, mely eltérhet. Ezen kívül adott egy maximális sebesség, melyet a járműnek a manőver során tartania kell. Mindezek alapján az idő függvényében egy közel trapéz alakú profilt kell meghatároznunk, amelynek kellően széles tartományán állandó sebességet kell előírunk. Ennek értelmében előfordulhat, hogy a manőver hossza nem elegendő ahhoz, hogy a maximális gyorsulás mellett elérjük a maximális sebességet, majd innen megálljunk. Ez esetben a maximális sebesség csökkenthető, és ezáltal megtartjuk a gyorsítási és lassítási profilt, emellett pedig lehetőségünk van az állandó sebességen történő haladásra is.



5. ábra: sebességprofil összetétele

Az 5. ábrán látható az előírt sebesség profilja. A maximális gyorsulás kalibrált értéke $a_{max} = 1 \frac{m}{s^2}$, a maximális lassulás kalibrált értéke: $a_{min} = -0.8 \frac{m}{s^2}$. A számítás során a felfutást külön számoljuk a lassítás szakaszához képest, amennyiben a manőver nem elég hosszú ahhoz, hogy elérjük (az ez esetben) $v_{max} = 5 \frac{m}{s}$ maximális sebességet, úgy csökkentjük ezt a sebességet. Az 5. ábrán ez látható, és mellett kb. 5.5 m hosszan kérünk állandó, $v_{max}^{mod} = \sim 2.25 \frac{m}{s}$ sebességet. Az algoritmus fő lépései tehát a következők:

- kezdeti feltétel: aktuális sebesség
- a kezdet sebességről indulva, a maximális gyorsulást figyelembe véve a két pont megtétele között eltelt idő számítása (két pont a korábban meghatározott egyenlő távolságra elhelyezkedő diszkrét pontok)

- az idő lépésköz alapján a két pont között elérhető maximális sebességnövekmény számítása, majd ez alapján a következő sebességérték számolása mindaddig, amíg el nem érjük a maximális sebességet, vagy elérjük a tervezés utolsó pontját
- ezek után hasonló alapon a végpontból ellenkező irányban elindulva a lassulás során elért negatív sebesség növekmények számítása és a lassulási profil meghatározása mindaddig, amíg el nem érjük a maximális sebességet, vagy elérjük a tervezés első pontját
- amennyiben a lassítás kezdeti pontja korábbra esik, mint a gyorsítás utolsó pontja, úgy keressük a keresztezési pontot (ahol a felfutási szakasz és a lassítási szakasz azonos sebességet írna elő)
- elméletben ezt a keresztezési pontot is használhatnánk váltó pontnak, ugyanakkor ez esetben nem lenne állandó sebességű haladás a manőver során, viszont a keresztezési pontban a maximális és a minimális gyorsulás közötti átálláskor nagy mértékű jerk érték keletkezne, mely csökkenti a szabályozhatóságot
- a keresztezési pont körül meghatározunk egy tartományt, amin kiterjesztjük az állandó sebességprofil tartományt (jelen esetben ez a keresztezési ponttól visszafelé számított 5 pont)
- az így kapott pozíció pontban érvényes sebességérték tartása mindaddig, amíg a lassulás profil kisebb sebességet nem kér

Ez a módszer megfelelő sebességtrajektóriát eredményez, mely már úgy készíti elő a sebesség referenciaértékeket, hogy a járműszintű szabályzó a lehető legkönnyebben képes legyen követni azt.

5. A fejlesztési környezet és integrálhatóság

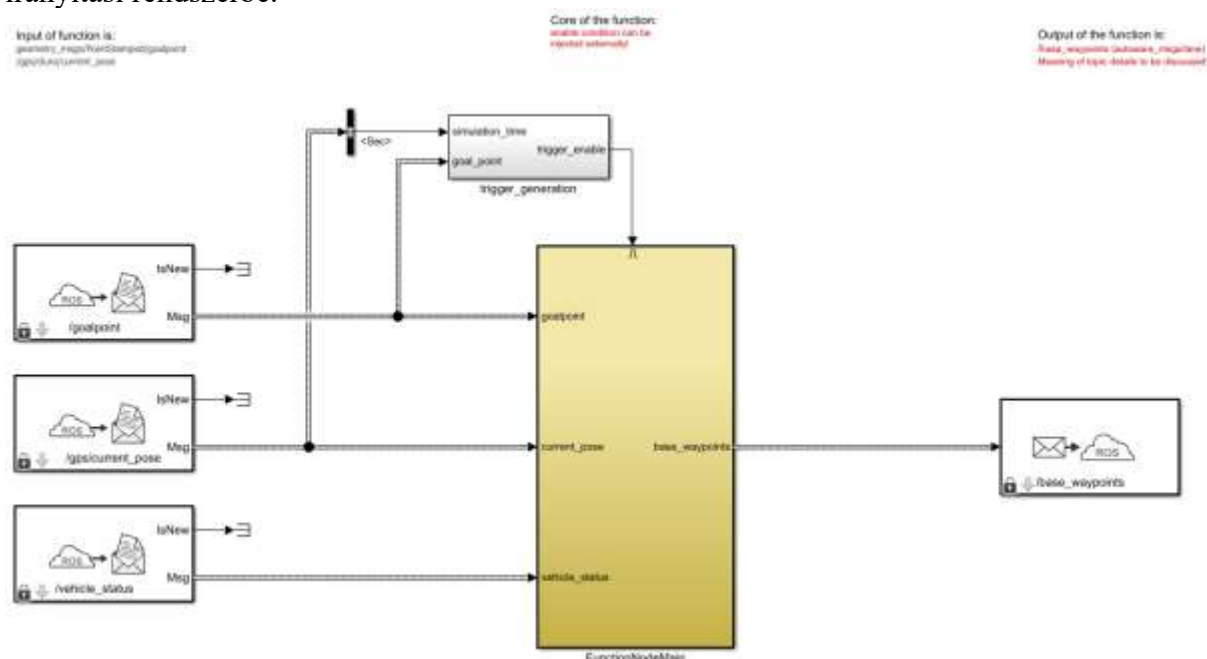
Ebben a fejezetben bemutatom a fejlesztési platformot, illetve annak előnyeit az integrálhatóság szempontjából. Röviden kitérek az ROS rendszerek előnyeire, továbbá a Simulink lehetőségeire a fejlesztés szempontjából.

A Robot Operating System egy middleware szoftver réteg, amelynek lényege, hogy architektúráisan az operációs rendszer felett, de az alkalmazási réteg alatt helyezkedik el (application layer alatt). Ennek létjogosultságát az egyre növekvő komplexitású robot irányítási rendszerek indokolják. Az ROS előnye, hogy egy olyan jól meghatározott struktúrát kínál, amely segítségével hatékony autonóm rendszerek alakíthatók ki, a sztenderdizált kommunikációs formának köszönhetően hosszútávon is jól követhető rendszert kapunk. Az ROS alapjai az ún. csomópontok (node-ok) és az ezeket kvázi összekötő témák (topicok). A csomópontok egy-egy különálló funkciót testesítenek meg, mint például szabályzás, tervezés, becslés...stb. Ezek a csomópontok különböző témákat hozhatnak létre (publish), más csomópontok pedig ezekre a témákra iratkoznak fel (subscribe). A témák így gyakorlatilag egy üzenetet közvetítő közeget alkotnak, és mivel a témák üzenettípusai általában előre meghatározott struktúrákat rejtenek maguk mögött, így ezzel együtt a jó interfész kezelés is megoldott. Az ROS rendszer mindig tartalmaz egy speciális csomópontot, a mester-csomópontot, mely összekapcsolja a többi node-ot a témákon keresztül. A kommunikációt főleg TCP/IP alapon szervezték meg ROS-n belül, ezáltal lehetővé téve, hogy akár több hardware-ből álló robot irányítási rendszerekhez is azonos szoftverstruktúrát használhassunk.

A cikkben leírt trajektória tervező algoritmus egy külön node-ot kell, hogy alkosson a nagy irányítási rendszeren belül. A fejlesztés Matlab/Simulink segítségével történt, mely egy könnyen érthető, jól vizualizálható felületet ad mérnöki szoftverek elkészítéséhez. A Matlab

külön eszköztárral rendelkeznek ROS rendszerekhez, megkönnyítve az integrálhatóságot. Ezáltal elérhetők az ROS rendszerek alapegységei előre definiált formában, ezek például a témakezelések (hirdető és feliratkozó funkciók) vagy az üzenet létrehozást segítő funkciók. Az így létrehozott modell futtatható akár számítógépen is, ahol TCP protokollon keresztül kapcsolódhat egy ROS rendszerhez. Ennek legegyszerűbb megoldása, ha egy előre felvett adathalmazt (ún. rosbag-et) játszunk le, és így nyílt hurkú tesztelésre teljesen alkalmassá válik a Simulink felülete. Az itt bemutatott eredmények is így születtek. Fontos, hogy jelenleg az ROS kizárólag Linuxot támogat, a jövőben azonban várható az ROS2 rendszer létrehozása, amely már Windows alatt is közvetlenül futtatható lesz. A fejlesztés során egy Windows számítógép alatt futó Simulinket használtam, a korábban rögzített rosbag-et virtuális linux segítségével játszottam vissza. A Matlab lokális host-ként automatikusan kapcsolódik a Windows alatt futó ún. roscore-hoz.

A Simulink rendelkezik beépített fordítóval (Simulink Coder), és így az elkészített node-ot közvetlenül tudjuk például C++ kóddá alakítani, ami már könnyen integrálható a teljes irányítási rendszerbe.



6. ábra: megvalósított ROS tervező node

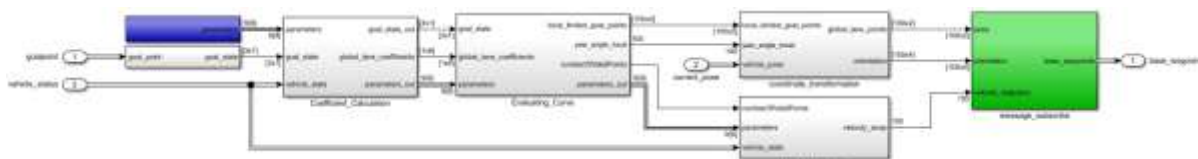
A 6. ábrán a Simulinkben megvalósított tervező node illusztrációja látható. A teszteléshez szükséges plusz funkció is bekerült, ezzel állítjuk elő a trigger jelet, hogy a tervező algoritmus kizárólag meghatározott időpillanatokban fusson csak le. A Simulink továbbá lehetőséget ad a tesztelés automatizálására is. Itt definiáltam egy szkriptet, mely kezeli a modell futtatását, majd a kinyert adatokat feldolgozza és kirajzolja. Így több beállítási is tesztelhető iteratív.

Az ROS platform kiváló megoldásokat kínál paraméterek kezelésére is. A paramétereket egy speciális csomópont állítja elő, a témákhoz hasonlóan egy előre definiált struktúrában. Ezeket a paramétereket aztán szintén sztenderdizált függvények segítségével kérdezhetjük le. Az algoritmusban használt paramétereket a 6. fejezetben írtam le.

6. Eredmények és megvalósítás

Ebben a fejezetben bemutatom a tervező működését pár egyszerű szimuláció alapján. A szimulációk alapja egy előre rögzített manőver adathalmaz az ún. rosbag formájában. Az

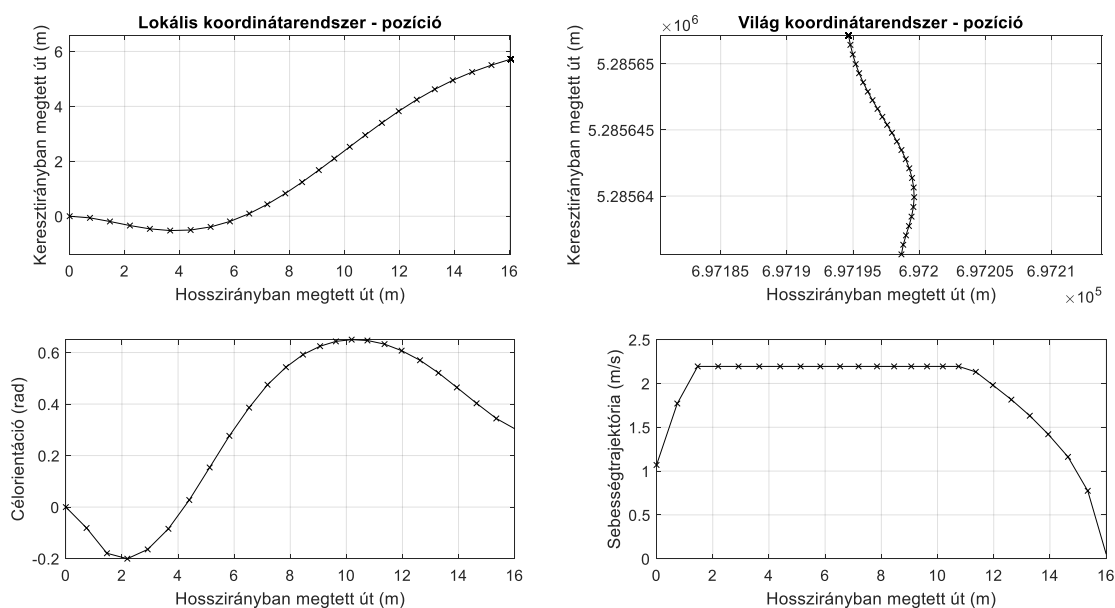
eredmények megmutatják, mi az eredménye a lokális koordináta-rendszerben tervezett görbének, kifejezetten koncentrálva a kezdeti és végfeltételek teljesülésére illetve a görbe kinematikai teljesíthetőségére.



7. ábra: megvalósított node - Simulink képernyőfotó

A 7. ábrán a megvalósított szoftver Simulinkes reprezentációja látható. A főbb alfunkciók tehát a következők:

- paraméter beolvasás [kezdeti funkció]
- célállapot átalakítása feldolgozható formába (quaternion – Euler átalakítás)
- együttható számolás és peremfeltételek meghatározása
- görbe együtthatóinak kiértékelése és a diszkrét pontok meghatározása
- sebességtrajektória meghatározása
- koordinátatranszformáció a globális koordinátarendszerbe
- üzenet hirdetésének előkészítése: ROS téma felkonfigurálása [végső lépés]



8. ábra: manőver összesített diagram

A 8. ábrán a szimulált manőver eredményei láthatók összesítve. A használt paramétereket, és azok értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

Paraméter neve és jelentése	Paraméter értéke
axle_distance_long – első és hátsó tengely távolsága	2.25 m
maximum_speed – sebesség trajektória névleges állandósult állapotbeli értéke	5 m/s
maximum_curvature – maximális trajektória görbület értéke	0.5 1/m
maximum_orientation – maximálisan megengedett trajektória orientáció változás a kezdeti állapothoz képest	$\frac{\pi}{2}$ rad
maximum_acceleration – maximális hosszirányú gyorsulás	1 m/s ²
maximum_deceleration – maximális hosszirányú lassulás	0.4 m/s ²
interval_distance – lépésköz, két trajektória pont közötti névleges távolság	0.75 m
error_approx_distance – a trajektória pontok meghatározásánál használt maximális távolság eltérés a névleges ponttávolság arányában	0.1
minimum_stop_distance – minimális cél távolság, ami alatt a trajektória tervezés nem lehetséges	1.5 m

1. táblázat: szimuláció során használt paraméterek és értékeik

A tervező algoritmus a manőver elején fut le, ezek után a kezdő időpillanatban megtervezett görbe mentén zajlik a mozgás. A szabályzáshoz így a mozgás során az eredetileg megtervezett görbét transzformálnunk kell, figyelembe véve az aktuális célértékeket a jármű pozíciójának függvényében. A tervezés trigger jelét egy másik csomópont állítja elő, ahogy a görbe értékek transzformációjáért is egy másik funkció felel. A 8. ábrán látható görbék alapján elmondhatjuk, hogy a tervezés sikeres volt, nem sértjük meg a támasztott korlátossági feltételeket, hiszen $\kappa_{max}^{traj} = 0.1741 \frac{1}{m} < \kappa_{max} = 0.5 \frac{1}{m}$, továbbá $\Delta\theta_{max}^{traj} = 0.6496 \text{ rad} < \Delta\theta_{max} = \frac{\pi}{2}$. Teljesülnek a peremfeltételek is. A transzformáció után – figyelembe véve a jármű kezdeti orientációjának értékét, ami $\theta_0^{abs} = 1.4653 \text{ rad} = 83.955^\circ$ – a kapott trajektória görbe a lokális trajektória alakjának megfelelő, az abszolút orientációval és pozícióval korrigált értéke. A megvalósítás során a következő ROS témákra iratkoztunk fel, ezek alkotják az algoritmus bemeneteit:

- goalpoint – típus: geometry_msgs/PoseStamped
- gps/current_pose – típus: geometry_msgs/PoseStamped
- vehicle_status – típus: autoware_msgs/VehicleStatus

Minden üzenetnek saját felépítése van, ugyanakkor nem használunk minden attribútumot, kizárólag azokat, amelyek a feladat megvalósításához elengedhetetlenül szükségesek. A *goalpoint* üzenetből kizárólag cél pozíció és orientáció szignálokat, a *current_pose* üzenetből szintén a pozíció és orientáció szignálokat, míg a *vehicle_status* üzenetből a sebesség és útkerék szög szignálokat használjuk. A kimenetként egy adott üzenetet hozunk létre, ennek neve:

- base_waypoints – típus: autoware_msgs/lane

Ez az üzenet alkalmas komplexebb feladatok leírására is, így itt sem használjuk ki a teljes attribútum palettát. A kimenet fő tartalma:

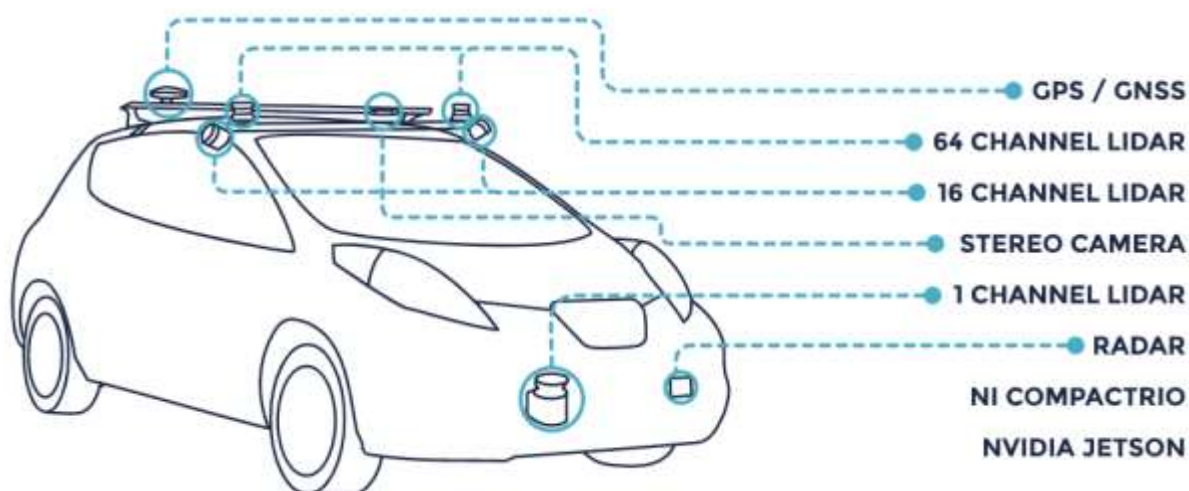
- waypoints tömb: a célpontok pozíciója és orientációja egy tömbben, továbbá a hosszirányú sebesség komponensek célértékei minden pontban

Ez azt jelenti, hogy a teljes megtervezett trajektóriát időben előre kiírjuk, a globális trajektória így a manőver elején teljesen rendelkezésre áll.

7. Alkalmazás

Ebben a fejezetben röviden bemutatom, milyen konfigurációval bír az irányítási szoftver elsődleges validációs alapjaként használt Nissan Leaf típusú jármű. Az itt megadott információk nagy része az [1] forrásból származik. Ezen kívül bemutatom, milyen feladatra használható az algoritmus.

Az elsődleges beépítési környezet egy elektromos hajtású, átalakított Nissan Leaf jármű, azonban az irányítási architektúra hasonlósága miatt ez az algoritmus könnyen integrálható a Shell Ecomarathonra készülő Szenergy járműbe, mely az egyetem hallgatói csapata által készített prototípus jármű.



9. ábra: Nissan Leaf járművön használt eszközök¹

A 9. ábrán látható a Nissan Leaf típusú jármű architektúrájának felépítése. A felsőszintű irányítást, azaz a környezetérzékelést és a feladattervezést egy NVIDIA Jetson AXG Xavier eszköz látja el. Ehhez került csatlakoztatásra egy NVMe SSD, melynek 1 TB méretű tárhelye és ennek gyors írási sebessége miatt kiválóan alkalmassá válik az eszköz nagy mennyiségű adat mentésére, mely az érzékelők felől érkező pontfelhők miatt indokolt. A főbb környezetérzékelő szenzorok a következők (csak fő típus megjelöléssel):

- front-radar: jármű elején elhelyezett szenzor
- lidar: háromdimenziós pontfelhő a térről
- kamera: gépi látás segítségével objektum detektálási feladatok

¹ forrás: [1] 4.1 pont, 44. oldal

A Lidar által szolgáltatott pontfelhők feldolgozása során az egyik első feladat a talajhoz tartozó pontok és az objektum pontok elkülönítése. Az így meghatározott pontokból a kamera segítségével jó minőségben klasszifikálhatók a pálya szélét jelző bóják és falak.

Ezen kívül használatban van egy GNSS rendszer is a jármű lokalizációjának számítására. Mindezen szenzorok összesítéséből pontosan leírható a jármű közvetlen környezete és ezáltal elvégezhető a tervezési feladat. Az autó mozgásállapota meghatározható a beépített inerciaszenzorok (IMU) és a sebesség szenzorok segítségével. A mozgásállapot mérésével több szűrőn keresztül pontosítható a GPS által meghatározott pozíció is. Ehhez rendelkezésre áll egy egyedi tervezésű másik ROS csomópont, melynek magja egy Kalman-szűrő, amely fuzionálja a különböző szenzoroktól érkező mért és származtatott jeleket. Ennek eredményeként a globális pozíció szórása 1 méter alattivá válik. Többek között ezért is választottuk a tervezett trajektória pontok távolságát 0.75 méterre. Ennél alacsonyabb értékeket ugyanis a lokalizáció pontatlansága miatt nem tudnánk érdemben feldolgozni, és nem járna minőségi javulással, ugyanakkor nagyobb számítási kapacitás igényt jelentene a vezérlők felé.

Az alacsonyszintű szabályzás fő feladata a jármű út-kerék szögének és a jármű hosszirányú sebességének szabályzása. Míg az érzékelésnél nagyobb adatátvitelre és sebességre képes protokollokat (TCP/IP és USB) is használunk, úgy alacsony szinten főleg a CAN hálózatokra építünk. A szabályzást megvalósító fő eszköz egy FPGA alapú vezérlő (NI cRIO). Az út kerék szög irányítása egy PID szabályzón keresztül történik, melynek referenciaértékét a felsőszintű szabályzás állítja elő majd kommunikálja CAN hálózaton keresztül. A visszamért szögértéket szintén CAN hálózaton keresztül kapja meg a vezérlő, mely a PID kimenetét egy analóg kártyán keresztül küldi ki a kormány szervó nyomatékigény bemeneteként. A szabályzó egy párhuzamos PID struktúra, amely kiegészül egy holttér kezelő funkcióval. A CAN hálózat sebessége minden esetben 500 kbps, a kormány szög szenzor adatokat 100 Hz frekvenciával kapja meg a szabályzó. Az alacsonyszintű szabályzás ciklusideje is ehhez igazított, hiszen a számítási ciklusidő csökkentése a szenzor adatok frekvenciája miatt nem járna a szabályzó minőségének javulásával.

A cikkben bemutatott algoritmus a felsőszintű irányítás része. Az NVIDIA platform Linux alapú programozást tesz lehetővé, mely közvetlenül alkalmas ROS rendszerek használatára. Ezért esett a választás erre a termékcsaládra. Az alsószintű irányítás eszköze Labview platform segítségével fejleszthető, mely többek között lehetőség ad belső jelek valós idejű mérésére és a beépített grafikus interfész használatára. Az alacsonyszintű irányítás és jelen cikkben bemutatott tervező algoritmus között helyezkedik egy jármű szintű model-prediktív szabályzó. Ennek a bemenetét állítja elő közvetlenül a tervező algoritmus, mely elsősorban a célpozíció, orientáció és sebesség értékek.





10. ábra: Shell Ecomarathon parkolási feladata²

Az algoritmus fő feladata, hogy egy parkolási feladathoz tervezzen egy trajektóriát. A feladat fő motivációja a Shell Ecomarathon nevű mérnökverseny egyik kihívása, amelynek illusztrációját a 10. ábra szemlélteti. A kiírás szerint a feladat során a jármű egy szabad területről indul, lassú mozgással közelíti meg az akadályokat, miközben a környezet érzékelésével keresi a célpozíciót és annak tulajdonságait. Amennyiben ez rendelkezésre áll, aktiválódik a tervezési algoritmus, és elindul a trajektória szabályozása is. A cél, hogy a 10. ábrán is látható kék színű, maximum 50cm magas és 3m széles objektum elé, a sárga-fekete csíkkal jelölt területen belülről navigáljuk a járművet, majd minél közelebb a kék objektumhoz megálljunk. Amennyiben a jármű bármely pontjával érinti a terület szélét jelző objektumokat (falakat vagy bójákat), a manőver érvénytelenné válik. Ezen manőver feltételei szerint alakítottam ki a tervező algoritmust is. Elméletben lehetséges nem nulla kezdeti sebesség, a végfeltétel mindig állóhelyzet. A maximális távolság, amelyet a járműnek hosszirányban be kell futni a szabályzat szerint 60-80m. Az oldalirányú elmozdulás ehhez képest nem számottevő, 6-10m. Közel párhuzamos állapotból indul a manőver, mint a célállapot, viszont a célkeresés közben elméletben lehetséges a jármű elfordulása, és így a szimuláció során is tapasztalt $\sim 16^\circ$ -os járműorientáció a célhoz képest egy átlagos értéknek tekinthető. Mivel a Shell Ecomarathonra készülő prototípus jármű, és a validációhoz elsődlegesen használt Nissan Leaf is elektromos hajtású, így a szabályzó algoritmus és ezzel együtt a teljes rendszer mindkét járművön nagyban megegyezik, mely megkönnyíti a fejlesztést és a tesztelést is.

A cikkben tárgyalt algoritmus fejlesztés után a cél, hogy ezt a funkciót az említett járművekben is megvalósítsuk, annak teljesítményt a valóságban is megvizsgáljuk. A feladat egyik következő lépése lehet a globális trajektória tervezés kiegészítése egy lokális tervezővel, mely a nem várt akadályok, vagy az előre nem ismert környezeti információk folyamatos monitorozásával együtt módosíthatja a globális útvonalat. Ehhez további kutatások szükségesek, de a funkció alapja továbbra is az ebben a cikkben bemutatott görbe tervezés. Mivel minden esetben a cél görbének figyelembe kell vennie a jármű megengedett mozgáskarakterisztikáját és a peremfeltételeket, az itt elért eredmények nagyrészt továbbvihetők és jó alapjául szolgálnak későbbi kutatásoknak is.

² forrás [1] 4.6 fejezet, 72. oldal

8. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Kőrös Péter: Nissan LEAF autonóm-funkciók megvalósításához kiépített rendszer leírása, *Járműipari Kutatóközpont, 2020. november*
- [2] Christian Rathgeber, Franz Winkler, Dirk Odenthal, Steffen Müller: Lateral trajectory tracking control for autonomous vehicles; 2015 European Control Conference (EEC), publisher: IEEE
- [3] Moritz Werling, Julius Ziegler, Sören Kammel, Sebastian Thrun: *Optimal trajectory generation for dynamic street scenarios in a Frenét Frame*, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, publisher: IEEE
- [4] Jason Kong, Mark Pfeiffer, Georg Schildbach, Francesco Borelli: *Kinematic and Dynamic Vehicle Models for Autonomous Driving Control Design*

Autonóm járműfunkciók megvalósítására alkalmas tesztjármű LGSVL szimulációja

Simulation of a Self-Driving Experimental Vehicle Using LGSVL Simulator

Krecht Rudolf^a, Unger Miklós^b, Horváth Ernő^c

^aSzéchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont
krecht.rudolf@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont
unger.miklós@ga.sze.hu

^cSzéchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont
hernó@sze.hu

Absztrakt: Az autonóm, önvezető járművek fejlesztési folyamata magas tesztigénnyel járhat hardveres és szoftveres oldalról is. Ezen tesztmérések eredményét befolyásolhatják olyan külső tényezők, mint az infrastruktúra változásai, vagy az időjárás. Továbbá említendő tényező a tesztmérések jelentős humánerőforrás-igénye is. A tesztfolyamatok felgyorsítása érdekében javasolt számítógépes szimulációkat alkalmazni adatgyűjtést célzó, valamint algoritmusvizsgálatot végrehajtó tesztek előtt. A valós mérések nem helyettesíthetők számítógépes szimulációkkal, viszont több iterációs lépés megtehető szimulációs környezetben, gyorsítva ezzel a teljes fejlesztési folyamatot. Jelen cikk először az LGSVL járműszimulátor alkalmazása által mutatja be autonóm járműfunkciók megvalósítására alkalmas jármű szimulációs módszereit. Az LGSVL szimulátoron kívül ismertetésre kerül több szimulációs eszköz is, összehasonlítva a bemutatott célra alkalmazható elérhető szimulátorokat. A számítógépes szimulációk előnyei egyértelműek, esetleges hátrányai, alkalmazásuk kockázatai is szem előtt tartandók. A kockázatok kiküszöbölése érdekében felmerül a validációs mérések lehetősége.

Kulcsszavak: önvezető járművek, LGSVL járműszimulátor, szimuláció validáció

Abstract: Autonomous vehicle development processes require continuous hardware and software tests. These tests might be dependent of resources, infrastructure and weather, making test sessions expensive and time-consuming. In order to simplify test procedures, computer simulations can be used. The aim of this paper is to demonstrate the implementation of LGSVL vehicle simulator for the simulation of an experimental vehicle used for the development of self-driving functions. Computer simulators different than LGSVL will be presented as comparison. Even if the benefits of computer simulations are obvious, it is important to consider the drawbacks and risks it might introduce. The aim of this paper is to offer fast and easy computer simulation methods, keeping an eye on simulation risk reduction. Different computer simulators will be compared, and the individual results will be validated using characteristic measurements. After validation, the advantages and disadvantages of the compared simulators will be highlighted.

Keywords: self-driving vehicles, LGSVL vehicle simulator, simulation validation

1. Bevezetés

Az önvezető és autonóm járművekhez és járműfunkciókhoz kapcsolódó tudományterületeken jelentős bővülés volt tapasztalható az elmúlt években. Mivel az önvezető funkciók több megoldása összetett rendszerben való alkalmazása által valósul meg, ezen a területen kiemelten fontos a hardver- és szoftverelemek összehangolt működése. Ezen komplex rendszerelemek megfelelő kollaborációja kiemelkedően magasnak számító tesztórák által érhető el, amely jelentősen megnöveli az autonóm járműfunkciókhoz kapcsolódó fejlesztések idő- és erőforrásigényét. Továbbá, a valós járműtesztek végrehajtása megköveteli a megfelelő kültéri követelmények rendelkezésre állását is. Adatgyűjtésekre irányuló mérések, alacsony- és magasszintű irányítórendszerek tesztelésére vonatkozó tesztelések megismétlendők különböző időjárási viszonyok között. Kiemelendő továbbá, hogy egyes algoritmusfejlesztési folyamatok, irányítórendszerek paramétereinek hangolását célzó műveletek iteratívak, fontossá téve a tesztméréseket a fejlesztési folyamatok időtartama alatt is, nemcsak a fejlesztések végeztével [1]. A korábban felsorolt tényezők a számítógépes robotszimulációkat az önvezető járművek fejlesztésének fontos elemévé teszik. Jelen cikk célja önvezető funkciók fejlesztését lehetővé tevő tesztjármű LGSVL járműszimulációs környezetben megvalósított szimulációs folyamatának ismertetése.

2. Célkitűzés

Jelen cikk célja egy önvezető járműfunkciók fejlesztésére alkalmazott tesztjármű számítógépes szimulációjának létrehozásához szükséges folyamat ismertetése, beleértve a különböző releváns számítógépes szimulációs környezetek ismertetését és összehasonlítását is. A szimuláció alanyát képező jármű egy Nissan Leaf (1. ábra), amely a következő, szimuláció szempontjából fontos szenzorokkal lett felszerelve:

- 2db. Velodyne Puck LiDAR
- 2db. Ouster OS1 LiDAR
- Duro GNSS vevő
- SICK LMS111 lézerszkennner

A szimuláció célja a felsorolt szenzorok adatainak valósághű kinyerése, kiegészítve a jármű alacsonyszintű irányításának valósághű modellezésével, mind szenzoros, mind pedig aktuátoros oldalról. Ez azt jelenti, hogy a jármű CAN hálózatán történő adatforgalom is a szimuláció tárgyát képezi, cél ezt is élethűen kezelni.

A cikk célja ismertetni a járműmodell-alkotási feladat folyamatát LGSVL szimulátorban. Bemutatásra kerül a CAD modell előkészítése, a szenzorok modellezése, paraméterezése, valamint a szimulátor kommunikációs eszközökkel való kompatibilissá tétele. A szimulációs folyamat bemutatását követően szó esik az LGSVL szimulátortól eltérő általános célú számítógépes szimulátorokról is, lehetőséget adva a cél megoldására alkalmas eszközök összehasonlítására.



1. ábra. A szimuláció alanyát képező kísérleti jármű

3. Az LGSVL járműszimulátor ismertetése

Az LGSVL (*LG Silicon Valley Lab*) szimulátor elsődleges célja az önvezető autókkal kapcsolatos kutatások és fejlesztések megkönnyítése. A Unity játékmotorra épül, amely lehetővé teszi valósághű járművek és környezetek megjelenítését relatív alacsony számítási kapacitás-igénnyel. A Unity alkalmazása által olyan technológiák érhetők el szimulációs célokra is, mint például a *High Definition Render Pipeline (HDRP)*, amely a fizika törvényeire alapozott, világítással kapcsolatos megoldások megvalósítását teszi lehetővé [2].

A szimuláció a következő elemekre bontható: környezet, szenzorok, jármű (kinematika-dinamika és irányítás). A környezet szimulációja lehetővé teszi valósághű környezeti elemek (épületek, növényzet stb.) ütközési modellezését, lehetőség van tesztpályák, városrészek teljes modellezésére. Lehetőség van továbbá az infrastruktúra elemeinek modellezésre, mint közlekedési lámpák és táblák, vagy útelemek. A környezet esetében paraméterezhető az időjárás - eső, köd, napszak (2. ábra) és a gyalogos- és járműforgalom.



2. ábra. LGSVL környezet különböző időjárási viszonyokkal

Az LGSVL szimulátor nyílt forráskódú szoftvertermék, szabadon felhasználható és továbbfejleszthető. Alkalmazása megköveteli a Unity játékmotor alkalmazását; az egyéni környezetek és járműmodellek a Unity Editor szerkesztő által készíthetők el. A járműmodellek szerkesztése futásidőben nem lehetséges, minden modellen belüli módosítás új modellkiadást (build) igényel. A kiadott modellek modellszerveren keresztül is elérhetők, vagy helyi tárhelyről is a szimulátorhoz kapcsolhatók.

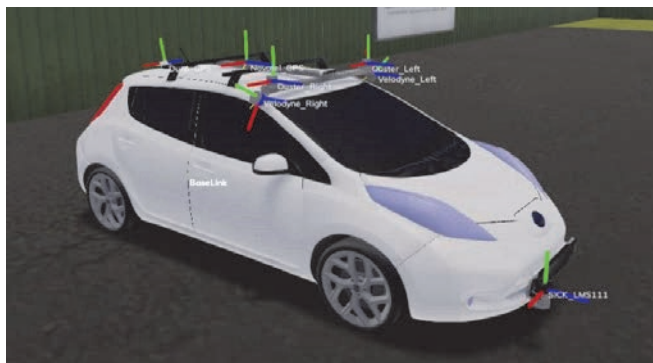
A modellekkel ellentétben a szenzorok paraméterezése, módosítása új modellkiadás nélkül is megoldható. A modellezett járműveken elhelyezett szenzorokat *JavaScript Object Notation* (JSON) kód formájában paraméterezhetjük. Az emulált adatokat szolgáltató érzékelők paraméterezhető tulajdonságainak listája megegyezik a valós szenzorok paramétereivel.

Az LGSVL szimulátor számos, önvezető járművek fejlesztése során használatos rendszerrel kompatibilis, például: *Apollo*, *CyberRT*, *ROS*. Jelen feladat szempontjából kiemelkedően fontos a szimulátor *ROS* (*Robot Operating System*) rendszerrel való kompatibilitása, ugyanis a Nissan Leaf jármű szabályzórendszere is *ROS* alapokkal rendelkezik. Az *ROS* rugalmas keretrendszer robotszoftverek létrehozásához. Számos eszközt, könyvtárat és általánosított eljárást foglal magába, melyek segítik komplex robotok, önvezető járművek platformfüggetlen, moduláris fejlesztését [3]. Általános célú robotszoftver fejlesztése a számos hardvertípus miatt rendkívül nagy kihívás. Az *ROS* lehetővé teszi robot hardverelemeinek önálló fejlesztését, és a standardizált elemközi kommunikációs eljárásainak segítségével biztosítja az így fejlesztett hardverelemek kompatibilitását. Járműszimulációk fejlesztése során is célszerű az *ROS* alkalmazása, ugyanis a szimulátor segítségével fejlesztett, és tesztelt kódrészek adott esetben módosítás nélkül implementálhatók a valós járművön. Az *ROS* gráf rendszerű, a csomópontok (node) közvetlenül kommunikálhatnak egymással. Publisher/Subscriber típusú kommunikáció valósul meg közöttük. A node-ok közölhetik (publish) üzenetüket, a többi node feliratkozhat (subscribe) erre, így minden node kommunikálhat minden node-dal [4]. Az *ROS* jelenleg nem valós idejű, de ezen hibája kiegészítő eszközök alkalmazásával megoldható. További hiányossága a biztonsági kérdések megoldatlansága. Mindkét hiányosság megoldásra kerül a *ROS 2* változat megjelenésével. Az LGSVL szimulátor *ROS 2* támogatottsággal is rendelkezik.

4. Nissan Leaf tesztjármű LGSVL szimulációja

LGSVL szimulátor esetében a szimulált jármű összeállítása Unity Editor alkalmazásával lehetséges. A modellalkotás első lépése a megfelelő CAD modell előkészítése, amely jelen esetben egy megfelelő elemeket tartalmazó *Filmbox* (.fbx) fájl. A fájl kötelező elemei a járműkarosszéria, a járműkarosszériához tartozó ütközési modell, valamint a kerekek. Ezen kívül a jármű alárendeltjeként szükséges a világítás elemeit, fényjelzéseket (index, fék stb.) is előkészíteni. Modellezés során kulcsfontosságú a megfelelő koordináta-rendszer alkalmazása.

Importálást és a textúrák megfelelő elhelyezését követően kialakítható a szimulált jármű. A kerekek esetében fontos megemlíteni, hogy a modellezés során járműhöz rendelt kerekek csak a valósághű vizuális megjelenésért felelnek, a kerekekhez saját osztály tartozik, melyeket a jármű hajtott kerekének és kormányzásának irányításához, beállításához használhatunk. Az osztály ütközési modelleket rendel a kerekek modelljeihez. A paraméterezés során több járműparaméter is megadható, beleértve a jármű tömegközéppontjára, futóművére és hajtásláncára vonatkozó adatokat.



3. ábra. A szenzorok pozíciója

A jármű szenzorjainak modellezése során fontos a tudatában lenni annak, hogy az LGSVL esetében a modellalkotási fázis nem tartalmaz működő szenzorokat, csak a várhatóan elhelyezendő szenzorok modelljét szükséges a járművön elhelyezni a valósághű megjelenés biztosítása érdekében. A szenzorok pozíciója és működése a JSON kód segítségével adható meg. A szenzorok az ROS-kompatibilis működés mellett meg is jeleníthetők az LGSVL szimulációs környezetben (4. ábra).



4. ábra. Szenzoradatok vizualizációja

5. A szimulációs környezetek összehasonlítása

A modellezendő jármű tulajdonságai és a fejlesztési cél alapján több számítógépes robotszimulációs eszköz is alkalmazhatónak bizonyul. Megfelelő lehet az ROS-Gazebo általános robotszimulációs eszköz, a CoppeliaSim általános robotszimulációs eszköz, az Unreal Engine 4 játékmotor, illetve a korábban bemutatott LGSVL járműsimulátor.

	CoppeliaSim	Gazebo	Unreal Engine 4	LGSVL
ROS-kompatibilitás	7	10	2	9
Dinamikus elemek	10	3	1	2
Valósághű megjelenés	7	3	10	10
Szenzormodellek	9	10	4	9
Validációs mérések lehetősége	8	8	2	9
Összesen	41	34	19	39

1. Táblázat. Szimulációs környezetek összehasonlítása

Az 1. Táblázat szemlélteti az említett szimulációs eszközök főbb tulajdonságait objektív pontrendszerrel értékelve. A célirányosan felállított pontrendszer (1-10) skálán értékeli az összehasonlított számítógépes szimulációkat annak függvényében, hogy mennyire könnyen alkalmazhatóan, és mennyire pontosan teszik lehetővé az adott kiemelt szempont témaköréhez tartozó problémák, feladatok megoldását.

6. Összefoglaló

Az LGSVL szimulátor lehetővé teszi, hogy kellően valóságos vizuális megjelenés mellett Robot Operating System rendszerrel kompatibilis önvezető járműfejlesztéseket célzó számítógépes szimulációk készülhessenek. A cikk során bemutatott szimulátoron belüli járműmodell-alkotás igazolja az összehasonlító részben leírtakat: számítógépes robotszimulációk létrehozására több szimulációs környezet is létezik, de önvezető járműfunkciók, járműszimulációk esetében az LGSVL nyújtja a leggyorsabban elérhető és legjobb minőségű eredményt. Nem igényel külső elemeket, csomagokat, így használata relatív egyszerű, és a szimulált járművekkel elért eredmények minősége megfelel a szükséges tesztek elvégzése során.

További fejlesztési lépés az elkészült járműszimuláció valós környezetben, valós járművel mért adatokkal való összehasonlítása, amely releváns adatok vizsgálata esetében pontos validációs módszer lehet az LGSVL környezetben készített szimuláció számára.

7. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] R. E. Shannon, „Introduction to the art and science of simulation,” in *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings*, Washington, DC, USA, 1998.
- [2] „Unity Manual,” 10 2020. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.highdefinition@10.1/manual/index.html>. [Hozzáférés dátuma: 7 11 2020].
- [3] „About ROS,” Open Source Robotics Foundation, [Online]. Available: <https://www.ros.org/about-ros/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2019].
- [4] S. Cousins, „Welcome to ROS Topics [ROS Topics],” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 1. kötet 17, 1. szám1, pp. 13-14, 2010.

Környezetérzékelés közös gerinchálózattal rendelkező neurális hálózategyüttes segítségével

Environmental Detection using a Neural Network Ensemble with Shared Backbone

Markó Norbert^a, Hollósi János^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont
marko.norbert@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont
hollosi.janos@ga.sze.hu

Absztrakt: Ahhoz, hogy autonóm járművek valóban képesek legyenek az önvezetés magas fokú és teljesen önálló ellátására, mindenekelőtt szükséges a környezet megfelelő pontosságú és gyorsaságú érzékelése, illetve értelmezése. A jelen értékezésben ezt a problémakört szeretnénk körbejárni részletesebben, mégpedig egy hatékony környezetérzékelő rendszer tervének felvázolásával, és részletesebb bemutatásával. A környezetérzékelő rendszer kulcsa a közös gerinchálózattal rendelkező neurális hálózategyüttes, ami nem egy forradalmian új dolog, azonban az általunk megvalósítani és optimalizálni kívánt változata egy teljesen új, eddig nem létező próbálkozás. A hálózategyüttes legfontosabb része a gerinchálózat, mely a jellegkiemelést végzi a különféle fejhálózatok számára. Mivel a fejhálózatok egy és ugyanazon a bemeneti képen végzik az érzékelést, és sokszor az egyes jellegek nagy átfedést is mutathatnak két fejhálózat között, emiatt ez az egy effektív megoldás lehet számítási teljesítmény felszabadítása, és a predikciók meggyorsítása szempontjából. A rendszer segítségével végzett környezetérzékelés célja, hogy egy kiegészítésre nem szoruló képet adjon a jármű környezetéről.

Kulcsszavak: mélytanulás, közös gerinchálózat, környezetérzékelés

Abstract: In order for autonomous vehicles to be able to perform self-driving on a high level and be completely independent of their drivers, the detection and interpretation of the environment with speed and accuracy on an appropriate level is required. In the present assessment, we would like to explore this issue in more detail, by outlining and presenting the details and the design of an effective environmental detection system. The key element to our environmental detection system is the neural network ensemble with a shared backbone, which is not a revolutionary new thing, but the version we are planning on implementing and optimizing is completely new, and not yet proposed. An integral part of the network ensemble is the backbone network, which performs feature extraction for the various head networks. Because head networks ultimately perform detection on the same input image and task-significant features often show a large overlap between two head networks, this can be an effective way to free up computational resources and speed up predictions. The goal of the environment detection with our system is to provide a complete picture of the vehicle's environment without the need to use additional detection algorithms.

Keywords: deep learning, shared backbone, environmental detection

1. Bevezetés

Az általunk körüljárt problémakör, amire egy effektív, elegáns és minél letisztultabb megoldást szeretnénk találni, az egy olyan autonóm járművek által alkalmazott környezetérzékelés teljeskörű megvalósítása, melynek szenzoradatbemenetét a lehető legnagyobb mértékben kameraképpel, illetve gépi látás felhasználásával szolgáltatjuk. A megoldás, aminek az előzőek fényében az alkalmazására törekszünk, az egy olyan neurális hálózat együttes, ami közös gerinchálózattal (shared backbone) rendelkezik. A gerinchálózat feladatát egy konvolúciós neurális hálózat látja el, ehhez pedig különféle fejhálózatok (head network) csatlakoznak annak érdekében, hogy a különféle specifikus környezetérzékelési feladatokat ellássák.

A közös gerinchálózattal rendelkező neurális hálózat együttes alap gondolata onnan származik, hogy a gépi látás segítségével történő környezetérzékelés szinte minden típusának alapját a konvolúciós neurális hálózatok adják, melyek segítségével a jelleg kiemelés (feature extraction) történik. Az algoritmusok ezt követő szintjei már sokszor nagyobb mértékben is eltérnek egymástól, és változatos megvalósításai léteznek. Ezen okból kifolyólag a jelleg kiemelésre egy közös gerinchálózatot alkalmazunk, az eltérő részeket képviselő fejhálózatok pedig mind ezeket a közös jellegeket használják fel saját predikciójuk létrehozásához. Az ilyen módon történő erőforrás megosztás jelentős erőforrásigény csökkenéssel jár, illetve összességében a predikciós időt is csökkentheti.

2. Motiváció

Az előzőekben bevezettük, hogy mi a rendszer célja, és hogy milyen előnyökkel jár a közös gerinchálózat alkalmazása, azonban a szükségességéről és létjogosultságáról nem esett szó.

A környezetérzékelő rendszerünk célplatformja az autonóm járművek fedélzeti számítási egységei, melyek rendszerint nem rendelkeznek akkora számítási kapacitással, mint egy kutatás-fejlesztés során alkalmazott asztali számítógép, vagy akár egy felhőből elért számítási klaszter. Továbbá a számítási egységen nem csupán a környezetérzékelés az egyetlen feladat, mely erőforrást igényel, szükséges még az érzékelés és a cél alapján az útvonal számítása, majd pedig a beavatkozási folyamatos frissítése is. Ebből az okból kifolyólag szükség van az érzékelési algoritmusok számának korlátozására, vagy az erőforrásigényük csökkentésére. A mi általunk tervezett megoldás az utóbbira törekszik a lehető leghatékonyabb módon.

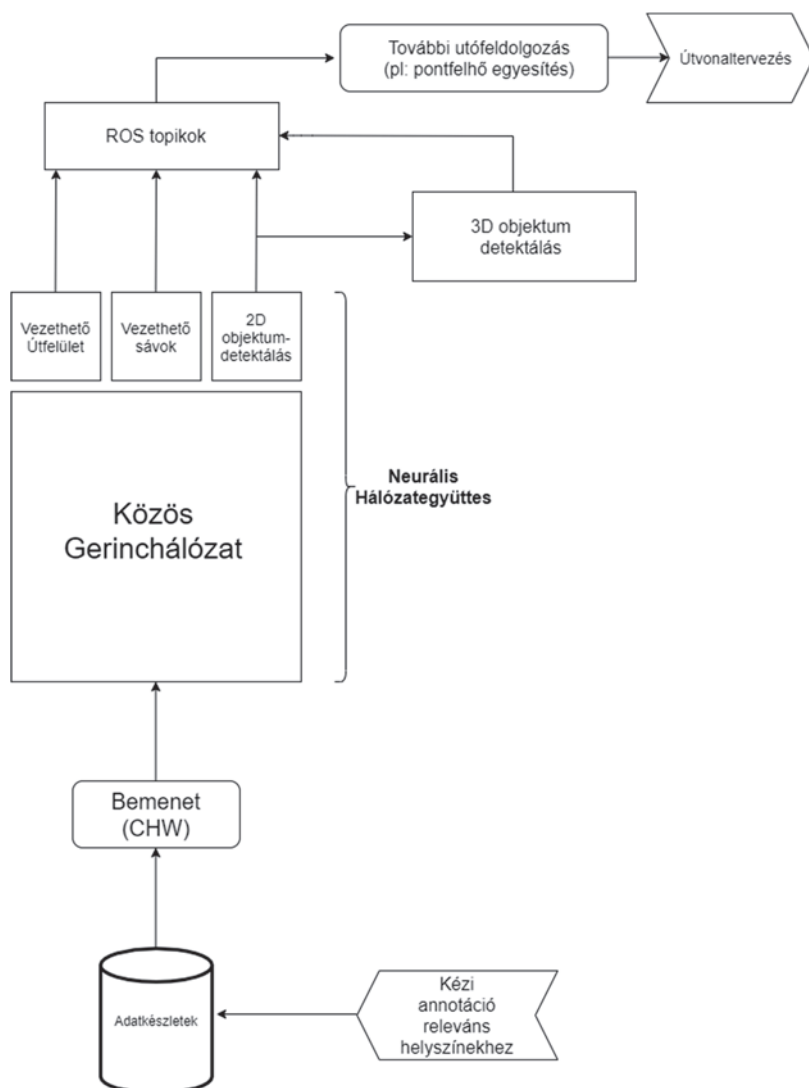
Egy másik szempont, ami szintén arra sarkall bennünket, hogy közös gerinchálózatot alkalmazzunk, az nem más, mint a jellegek hasonlósága a különböző feladatok között. Mivel mindegyik érzékelési algoritmus ugyanabban a környezetben működik, ezért a jelleg-domain is nagyon hasonló lesz közöttük. Ebből következik, hogy a konvolúciós hálózat korai rétegei által megtanult élek, és textúramintázatok hatékonyan újrafelhasználhatóak a fejhálózatok által. Ennek mértéke kérdéses, azonban a munka részét képezi ennek a felderítése is.

3. A rendszer felépítése

A rendszer általános felépítését és fontosabb részleteit szeretnénk a következőkben ismertetni, melyekre a későbbiek során külön-külön is kitérünk. A környezetérzékelő rendszerünk

központi részét a fentebb tárgyalt neurális hálózategyüttes szolgáltatja. Ez a közös gerinchálózatból illetve a különféle fejhálózatokból áll össze. A bemenetnél a "CHW" mozaikszó arra utal, hogy a bemeneti képi adatok sorfolytonos rendezésbe (row-major order) kerülnek be a memóriába. A 'C' jelöli a színcsatornákat (channel), a 'H' és 'W' pedig a magasságot és a szélességet (height, width). Amennyiben a csatornák kapják az első indexet a multidimenziós tömbben, a kép a memóriából folytonosan olvasható ki, így csökkentve a gyorsítótár találati hibák számát, ezzel növelve az olvasási hatékonyságot. Az ábrán jelölt adatkészletek csak a tanítási fázis esetén relevánsak, ezt azért jelöltük külön a "kézi annotáció releváns helyszínekhez" címkével, mert a kutatásaink során limitált források állnak rendelkezésre az adatkészletek beszerzésére, nagyrészt ingyenes készletekre kell hagyatkoznunk, így szükségünk van a tesztelendő területhez hasonló adatkészletek annotálására, hogy a rendszer bevethető legyen a különböző éles tesztelések során.

A fejhálózatokból kimenő predikciókat ROS (Robotic Operating System) topikok formájában hirdetjük, melyeket a különféle utófeldolgozó és útvonaltervező algoritmusok könnyen felhasználhatnak. Az utófeldolgozás során még a rendszerbe kerülhetnek algoritmusok, amik például a LiDAR által generált pontfelhő mélységadatait ráilleszti a predikciókra, így egy sokkal optimálisabban használható háromdimenziós információt szolgáltatva a környezetről.



1. ábra. A környezetérzékelő rendszer felépítése.

A sikeres tanítás végeztével a gerinchálózatot és a fejhálózatokat az Nvidia TensorRT predikció optimalizáló szoftver segítségével átkonvertáljuk C++ formátumba, illetve az ide tartozó memóiafoglalási és preprocessing műveleteket is ebben valósítjuk meg, így sokkal stabilabbá és remélhetőleg gyorsabbá téve a fedélzeti egységen történő predikciót. A fentiek végeztével a rendszer a környezetről egy minél teljesebb információt szolgáltatva lehetővé teszi az útvonaltervezés megvalósítását, és így a jármű autonóm működését (lásd 1. ábra).

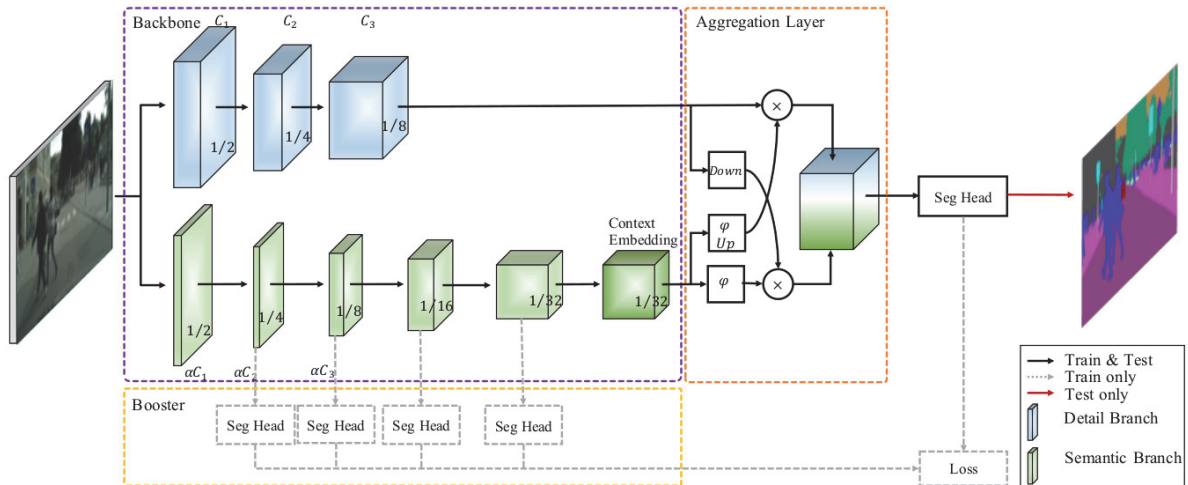
4. A gerinchálózat

Miután a gerinchálózat ötlete megszületett, szükség volt annak a beazonosítására, hogy az autonóm járművön előreláthatólag használni kívánt hálózattípusokban (szemantikus szegmentáció, útpadka felismerés, objektumdetektálás stb.) melyik rész lenne felhasználható egy közös alaparchitektúrában. Mivel képfelismerésről beszélünk, ezért a dolog adott volt, hogy valamiféle konvolúciós hálózatarchitektúrával induljon mindegyik típus. A bevezetésben megemlítésre került, hogy amennyiben körbetekintünk a gépi látás segítségével történő környezetérzékelés szakirodalmában, beláthatjuk, hogy szinte az összes típus alapját egy jellegkiemelésre alkalmas konvolúciós neurális hálózat adja. Ennek az alaphálózat típusnak általában jellemzője, hogy "könnyűsúlyú", vagyis alacsony erőforrásigényű, illetve a síkbeli dimenziók a hálózatban előrehaladva folyamatosan csökkennek, miközben a kinyert jelek miatt a konvolúciós rétegek mélységdimenziói folyamatosan növekednek. Gerinchálózatunkként végül emellett a konvolúciós háló típus mellett döntöttünk, mely 1/32 nagyságrendű kódolást biztosít a bemeneti képen.

5. A fejhálózatok

A fejhálózatok esetében sokkal nagyobb mértékű eltérések tapasztalhatóak a jellegkiemelésre használt alaphálózatokkal ellentétben, ami abból adódik, hogy míg a képeken felismerni kívánt jelek nagyon hasonló formákkal és textúrákkal rendelkeznek a különböző feladatoknál, addig a specifikus feladatok kimeneti formátumai nagyon eltérőek lehetnek. A vezethető útfelület felismerésére a szemantikus szegmentáció technikáját alkalmazzuk, ami a padkadetekcióhoz használni kívánt LaneNet [1] alapját is szolgáltatja. Erre a feladatra a BiSeNetV2 [2] architektúrát használjuk fel. A hálózat neve egy mozaikszó, ami a „Bilateral Segmentation Network” elnevezést takarja. A jelenleg valós időben is elégséges sebességgel működő hálózatok közt a legjobban teljesítő szegmentáló algoritmusok az úgynevezett enkóder-dekóder architektúrát használják, azonban az itt alkalmazott ún. "skip connection"-ök nem mindig nyújtanak elégséges kiegészítést a pontosság növeléséhez, így esett a választás erre az újragondolt architektúrára.

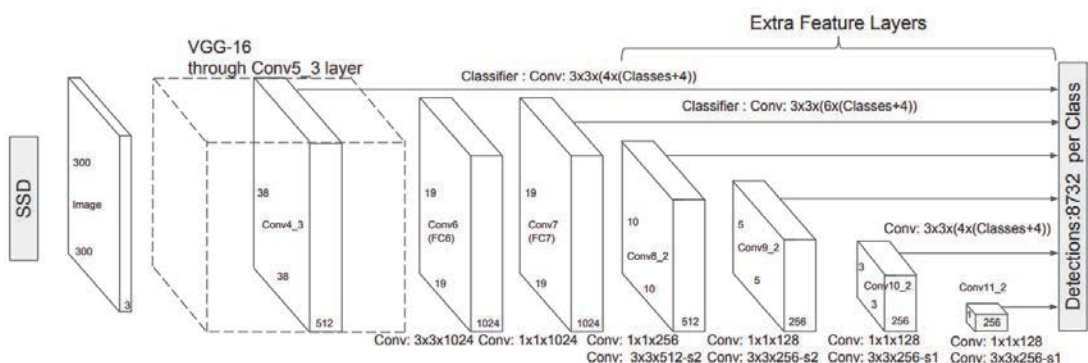
A hálózat a kapott bementi képet két ágon kezdi el feldolgozni, az egyik az úgynevezett „részlet ág” (Detail Branch), a másik pedig a „szemantikus ág” (Semantic Branch). Az utóbbi ág szolgáltatja egyébként a hálózatunk gerincét, amit az előző szekcióban is tárgyaltunk.



2. ábra. A BiSeNetV2 [2] architektúra.

Célszerű azt is megemlíteni ezzel kapcsolatban, hogy a szemantikus ág bármilyen könnyűsúlyú konvolúciós hálózat lehet, amennyiben a zsugorítási faktor 1/32 a választott háló esetében is, azonban az általuk publikált architektúra olyan módosításokat eszközölt a teljes háló ezen kezdeti részén is, hogy érdemesnek láttuk ezt felhasználni, az eredetileg tervezett MobileNetV2 [3] gerinchálózat helyett, ami egyébként inspirációval is szolgált a szerzőknek jelen típushoz.

Ha vetünk egy pillantást a részlet ágra a 2. ábra felső részén, láthatjuk, hogy a bemenettől kezdve egy külön ágot képvisel, majd az aggregációs rétegben az architektúra végén becsatlakozik a szemantikus ágba. Ez a részlet ág az enkóder-dekóder architektúra „skip connection” csatlakozásaihoz hasonlatos, ez is ugyanúgy a részletgazdagságot hivatott javítani, illetve finomítani a durva szemantikus eredményeken. A többi fejhálózat esetén nem született végső döntés a tervezési fázisban, illetve még az sem tisztázódott, hogy például objektum detektálás vagy útpadkadetektálásra melyik legyen a felhasznált architektúra. Az objektum detektáláshoz első körben a Single Shot Detector [3] szeretnénk kipróbálni. A fejhálózatokkal kapcsolatos döntéseknek a meghozatalára a gerinchálózat kiépítését és tesztelését követően kerül sor.



3. ábra. A Single Shot Detector [3] architektúra.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Ze Wang, Weiqiang Ren, Qiang Qiu: *LaneNet: Real-Time Lane Detection Networks for Autonomous Driving* (2018)
- [2] Changqian Yu, Changxin Gao, Jingbo Wang, Gang Yu, Chunhua Shen, Nong Sang: *BiSeNet V2: Bilateral Network with Guided Aggregation for Real-time Semantic Segmentation* (2020)
- [3] Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg.: *SSD: Single Shot MultiBox Detector* (2015)

Alacsony nyugalmi áramú DC/DC konverter tervezése akkumulátor felügyeleti rendszerhez

Low quiescent current DC/DC converter design for Battery Management System

Gulyás Péter^a, Szeli Zoltán^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont - Győr
gulyas.peter@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem SZE-AUT, SZE-JKK - Győr
szeliz@ga.sze.hu

Absztrakt: Jelen cikkünkben egy akkumulátor felügyeleti rendszert kiszolgálni képes energiahatékony 5V DC kimenetű LM5164 konverter fejlesztését mutatjuk be részletesen. A fejlesztés háttérében az e-mobilitás két kulcsfontosságú témaköre áll, az energia tároló rendszerek biztonságos üzemeltetése, és ezen rendszerek karbantartása. Egy akkumulátor felügyeleti rendszer esetén elvárjuk, hogy az állandó összeköttetés miatt, a mikrovezérlőt kiszolgáló konverter a terhelés nélküli állapotában is minimális áramfelvétellel rendelkezzen. Az aktuális piacon kapható furatszerelt konverterek nem ilyen alkalmazási esetekre lettek fejlesztve, így egy egyedi megoldás fejlesztése szükséges. A fejlesztett konverter összeállítás a jelenlegi piacon árban megegyező konkurens eszközökhöz képest várhatóan 600-szor kisebb alapfogyasztással fog rendelkezni, melyet a projekt folytatását követően a prototípuson tudunk majd validálni. A cikk részeként bemutatjuk az irányadó tervezési paramétereket és az azt követő szimulációs eredményeket, amiket a Texas Instrument Webench felületén végeztünk. Az eredmények során részletesen kitérünk a feszültség hullámosságra és a terhelési tranziensre vonatkozó eredményekre is. Végezetül bemutatjuk a nyomtatott áramkört, melyen lehetőség van EMC árnyékoló sapka rögzítésére is, a további tesztek előkészítve.

Kulcsszavak: *nyugalmi áram, konverter, nyomtatott áramkört panel, BMS*

Abstract: In this article we introduce a detailed description of an energy efficient 5V DC output LM5164 converter design for battery management systems. In the background of this development there are two key elements of e-mobility. First is the safe operation of energy storage systems and second, the maintenance of these system. In the case of a battery management system we expect that the voltage conversion unit, which supply the microcontroller, has a low consumption, even in “no-load” conditions. The currently available through-hole units on the market are not specially designed for this application, that is why a custom design is required. The converter assembly we have designed is expected to be 600 times more efficient than the currently available competitors on the market from the same price range, which could be validated later with a prototype. As part of the article we present the normative parameters of the development and the following simulation results, which were made with the Texas Instrument Webench platform. We detail the simulation results with special attention to voltage ripple and output load transient. After all we present our printed circuit board design, which is capable of EMC shield caps to be prepared for further testing.

Keywords: *quiescent current, converter, printed circuit board, BMS*

1. Bevezetés

A nagy teljesítményű akkumulátor rendszerek manapság elengedhetetlen részévé váltak az e-mobilitásnak, viszont ezek biztonságos és hosszú távú üzemeltetése több kérdést is felvet. Egy energia tároló rendszertől elvárjuk a nagy tároló kapacitást, valamint azt, hogy az energiát, valamilyen kontrolált formában szolgáltatssa, ha arra szükség van. Az akkumulátor rendszerek esetében, ha a tárolás, vagy az energia kinyerése nem megfelelően kontrollált, akkor ez a rendszer meghibásodásához vezethet, extrém esetekben akár tűz is keletkezhet. Az akkumulátorok meghibásodása több okból is bekövetkezhet, melyek általában a mély kisütés, a túltöltés, a túlterhelés, a hősokk, vagy ezek kombinációja az oka.[1] A több cellából álló nagy kapacitású csomagokat érintő elsődleges probléma, hogy a precíziós sorozatgyártást követően sem lesz két cella teljesen azonos. Ennek következtében, a kémiai eltérésekből adódóan, ha minimálisan is, de másképp fognak reagálni az elektromos és környezeti terhelésre, így a degradáció más-más mértékű lesz. Ennek következményében a gyengébb cellák lehúzzák a teljes csomag teljesítményét, és annak ellenére, hogy csak egy-két cella gyengült meg a rendszerben, a teljes akkumulátor csomag veszít a teljesítőképességéből, hosszútávon pedig kompenzáció nélkül a teljes akkumulátor csomag használhatatlanná válhat. Belátható tehát, hogy a több cellából álló rendszerek biztonságos üzemeltetése és élettartamának növelése megköveteli egy felügyeleti rendszer meglétét (továbbiakban BMS). Ezek a felügyeleti rendszerek viszont állandó jelleggel összeköttetésben kell, hogy álljanak az akkumulátor csomaggal, így, ha túl nagy nyugalmi fogyasztásuk lenne, használat nélkül lemerítenék az energiatárolókat. Ennek a problémának a megoldására terveztünk egy kifejezetten alacsony nyugalmi árammal rendelkező egyenáramú konvertert.

2. DC/DC konverter

Az elektromos járműipar fejlődésével és az akkumulátorok gyors terjedésével a félvezető gyártó cégek is felismerték a lehetőséget a piacon, és specifikus ágazatokat indítottak el. A konverter választás során a piaci felmérést követően a Texas Instruments gyártót választottuk, mely több mint 20 éve gyárt DC/DC konvertereket. Az integrált áramkör (továbbiakban IC) kiválasztását több peremfeltétel specifikálása előzte meg, amit a kiszolgálni szükséges akkumulátor csomaghoz méretezve alakítottunk ki, melyek az alábbi táblázatban szerepelnek (lásd 1. táblázat). A választott LM5164 típusú konverter[2] IC kiválasztását követően több szimulációt is végeztünk, melyben megbizonyosodtunk a kapcsolási összeállítás pontos és megfelelő működéséről, várható teljesítményéről.

<i>Paraméter neve</i>	<i>Értéke</i>
Bemeneti feszültség tartomány	35-70V DC
Kimeneti feszültség	5V DC
Kimeneti áram	1A
Hatásfok	>80%
Nyugalmi áram	<15μA

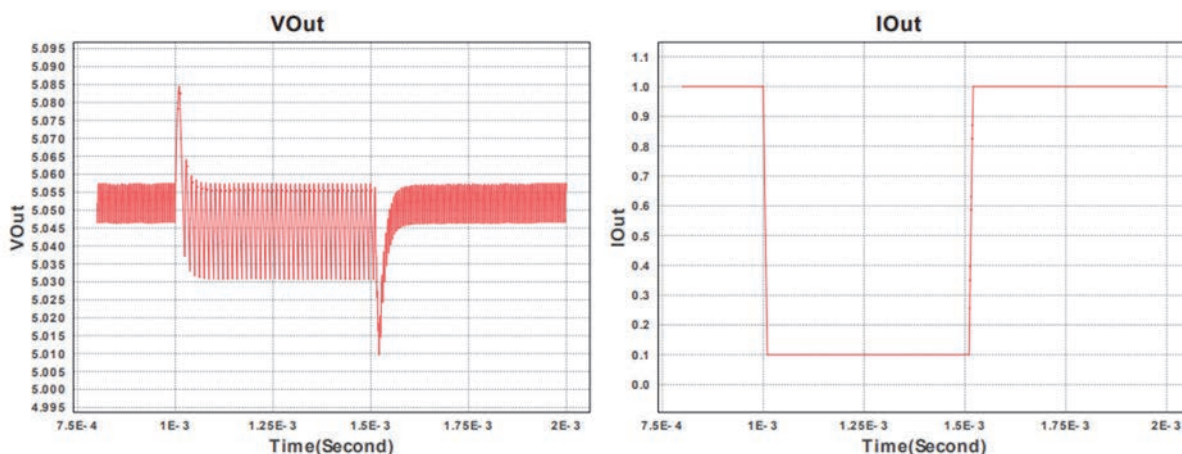
1. táblázat. A konverter választás bemeneti paramétereit és értékeit

A kapcsolás működését érintő szimulációk során két kiemelt esetet vizsgáltunk, a terhelési tranziens, melyben a feszültség túllövéseket, valamint az állandósult állapotot, ahol a feszültség hullámosságát vizsgáltuk. A szimulációkat online környezetben, a gyártó által biztosított WEBENCH szolgáltatáson keresztül végeztük el. A szimulációs paraméterek beállítását a fentebb említett paraméterekhez mérten választottuk meg. A terhelési tranziens

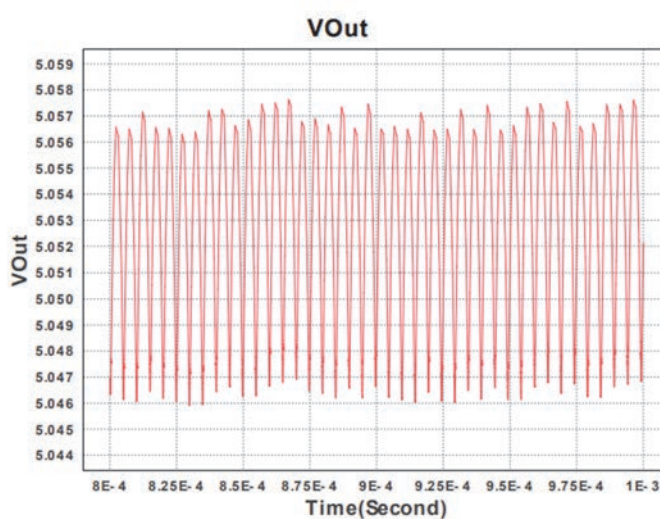
esetében a feszültség túllövések vizsgálata rendkívül fontos, hiszen a tápellátási lánc további elemei szűk toleranciával rendelkezhetnek, így azok védelme és működésük garantálása elsődleges. Két kritériumnak kell megfelelnie a választott elemekkel végzett szimulációs eredménynek:

- a tranzienskorai túllövések nem haladják meg a 250mV-os értéket, ami az 5V-ról működő logikai eszközök 5%-os tűrésének felel meg,
- valamint a feszültség hullámosság kisebb, mint 30mV, mely elősegíti az analóg-digitális jelfeldolgozás pontosságát.

A tranziens viselkedés szimulációk (lásd 1. ábra) alapján maximum 40mV-os túllövéseket tapasztaltunk, míg a feszültség hullámosság vizsgálatakor (lásd 2. ábra) 12mV-os értéket mértünk, így az elvárásainknak megfelelt az összeállított konverter. A szimulációs eredményekre támaszkodva a választott konvertert és környezetét alkalmasnak találtuk a további munkákhoz, így a kezdetét vette a kapcsolási rajz megvalósítása Altium Designer[3] szoftverben, amiben ezt követően a panel terveket is megvalósíthatjuk a gyártási fájlok generálásával egyetemben.



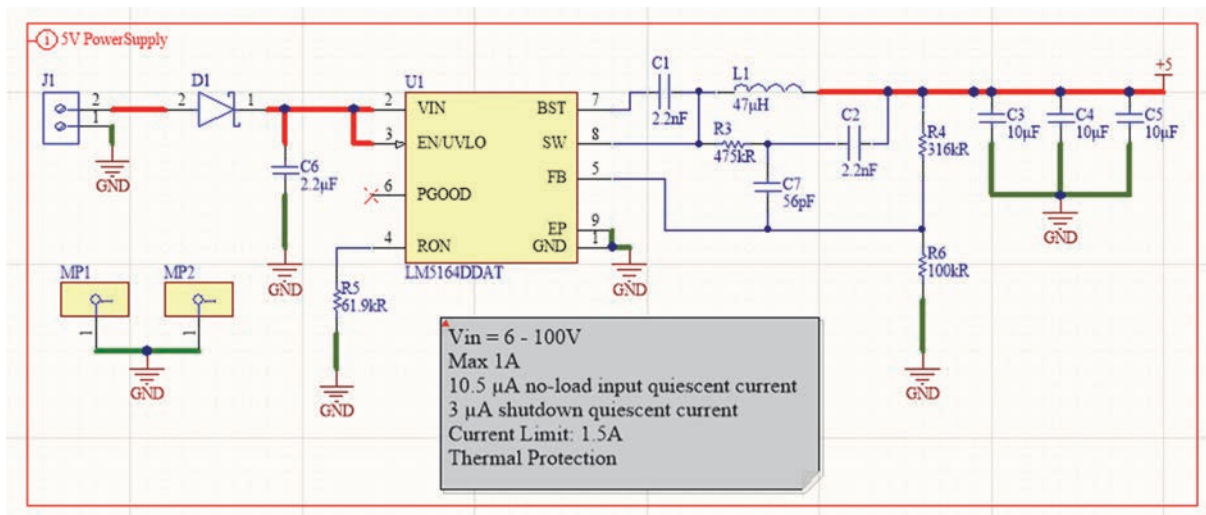
1. ábra. A terhelési tranziens szimulációjának eredménye



2. ábra. Az állandósult állapot szimulációjának eredménye

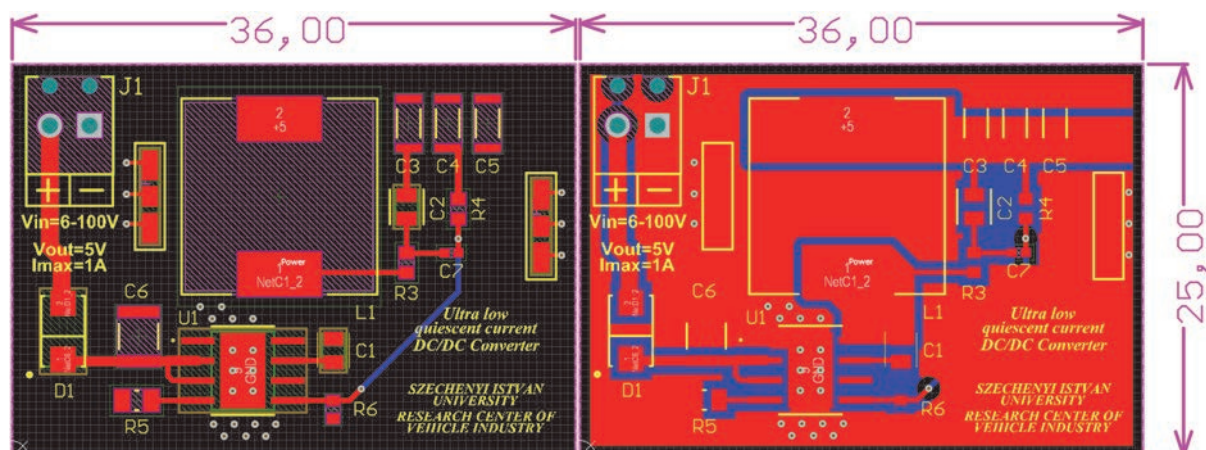
3. Panel tervezés

A kapcsolási rajz szimulációjakor már figyelembe vettük az alkatrészek elérhetőségét a tervező programhoz kapcsolódóan, így a sikeres szimulációkat követően minden alkatrészt pontosan be tudtunk illeszteni az Altium Designer szoftverbe. A kapcsolást kiegészítettük egy csavarozható bemeneti csatlakozóval (J1), valamint két rögzítési ponttal is (MP1 – MP2), mely lehetőséget biztosít a tesztek során, úgynevezett PCB sapka rögzítésére is, amivel a kapcsolóüzemű tápegységeknél alkalmazott tekercsre jellemző kisugárzott elektromágneses hullámokat[4] lehet majd árnyékolni, amennyiben szükséges. A végleges kapcsolási rajzot a 3. ábra szemlélteti.



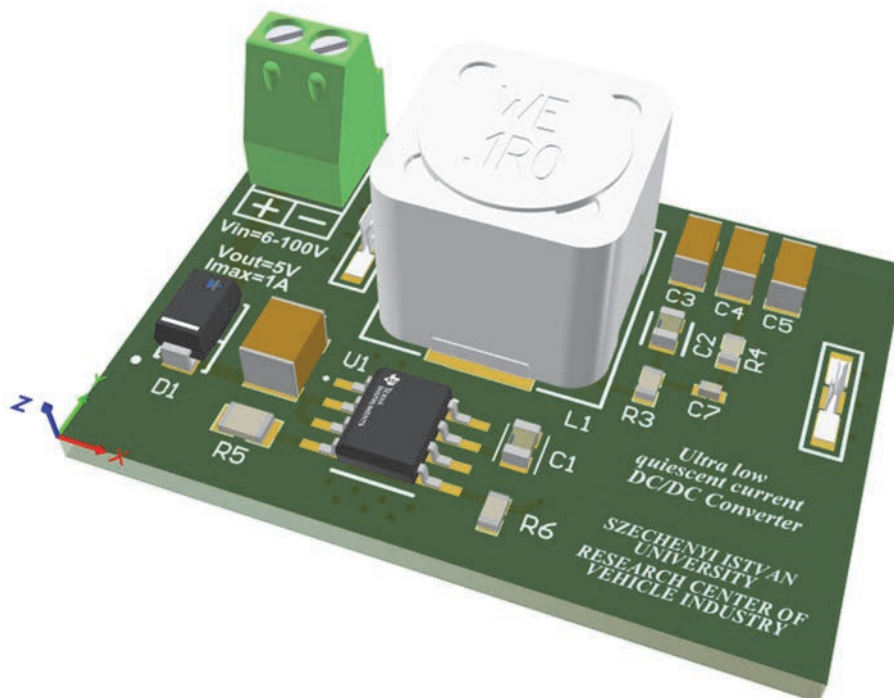
3. ábra. Alacsony nyugalmi áramú konverter és környezetének kapcsolási rajza

A kapcsolási rajz megvalósítását követően a nyomtatott áramkör huzalozását rétegenként haladva valósítottuk meg. A bemeneti csíkszélességet 1,2mm-re választottuk, mellyel eleget teszünk a méretezett áramfelvételhez kapcsolódó melegedés igényeinek, míg a kimeneti oldalon egy poligont hoztunk létre az 1A maximális kimeneti áram elosztásának érdekében. A gyártói ajánlásoknak megfelelően több via segítségével történik a teljesítményelektronikai IC hűtése, mely a hátoldalon a teljes panelra kiterjed, ezzel biztosítva a hőterhelés minél nagyobb felületen történő elosztását. Az elkészült elrendezést az alábbi 4. ábra mutatja.



4. ábra. Balra: A megtervezett konverter panel nyomtatott áramköri összeköttetései.
Jobbra: Poligonokkal kiegészített nyomtatott áramköri vizualizáció

A tervezett panel méreteit tekintve 36x26x15mm (SZÉxMÉxMA) nagyságú, ezzel kifejezetten kompakt megoldásként szolgál a hozzá építhető BMS funkciókat ellátó mikrovezérlő és kiegészítői számára (lásd 5. ábra). Az 1A-es terhelhetőség lehetőséget biztosít az alap funkciókon felül, valamilyen kommunikációs modul integrálására is, így a BMS rendszer egy WiFi vagy BLE csatornán keresztül távoli diagnosztikára is előkészíthető.



5. ábra. A tervezett DC/DC konverter 3D-s vizualizációja.

A panel előállítását a tervezési munkát és az összeszerelést leszámítva a következő táblázatban szereplő költségeket vonja maga után (lásd 2. táblázat). Összehasonlításképpen az alábbi árhoz tartozó gyári megvásárolható konverterek 6-8mA-es nyugalmi árammal rendelkeznek, melynek tekintetében az általunk tervezett egyedileg optimalizált megoldás 600-szor hatékonyabb.

Alkatrész költség	3.780 Ft
Panel költség	1.800 Ft
Szállítási költség	4.500 Ft
Összesen	10.080 Ft

2. táblázat. A tervezett konverter legyártásának költség vonzatai

4. Összefoglalás

Egy jól megválasztott konverter IC és a hozzá optimalizált környezetének segítségével sikerült megvalósítani, egy a szimulációk alapján megfelelő feszültség forrást, mely a vizsgált paraméterek szerint ideális alapja lehet egy új generációs BMS rendszernek. A konverter panel illeszthető lehet bármilyen lítium alapú akkumulátor rendszerhez 100V-os feszültség határig és 1A-es csúcs terhelésig. A piaci felmérések szerint anyagköltsége csekély, így piaci szempontból előnyt élvez több konkurens gyártóval szemben, de a valós eredmények érdekében először szükséges egy prototípus elkészítése, hogy a szimulációs eredmények validálása megtörténhessen.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Cosimo Carriero: Battery Stack Monitor Maximizes Performance of Li-Ion Batteries in Hybrid and Electric Vehicles, *Analog Devices Technical Article* (2019),
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/tech-articles/Battery-Stack-Monitor-Maximizes-Performance-of-Li-Ion-Batteries-in-Hybrid-and-Electric-Vehicles.pdf>
(utolsó látogatás: 2020.11.07.)
- [2] Texas Instruments LM5164 konverter adatlapja:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5164.pdf?ts=1604745680009&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM5164
(utolsó látogatás: 2020.11.07.)
- [3] Altium Designer szoftver:
<https://www.altium.com/altium-designer/>
(utolsó látogatás: 2020.11.07.)
- [4] M. Belloni, E. Bonizzoni és F. Maloberti: High efficiency DC-DC buck converter with 60/120-MHz switching frequency and 1-A output current, *Proceedings of ESSCIRC '09, Athens, Greece*, 2009 pp 452-455.

Nagyhatásfokú DCDC konverter szimulációja és hardveres megvalósítása

Simulation and hardware implementation of a high-efficiency DCDC converter

Kecskeméti István^a, Gulyás Péter^b, Miklós Máté^c

Széchenyi István University SZE-JKK Győr Egyetem tér 1, Hungary
kecskemeti.istvan@ga.sze.hu

Széchenyi István University SZE-JKK Győr Egyetem tér 1, Hungary
gulyas.peter@ga.sze.hu

Széchenyi István University SZE-JKK Győr Egyetem tér 1, Hungary
miklos.mate@ga.sze.hu

Absztrakt: A SZEnergy Team már évek óta részt vesz a Shell Eco Marathon energiahatékonysági versenyen. Ennek jegyében olyan versenyautó fejlesztése a cél, amely a lehető legnagyobb távolságot tudja megtenni egységnyi energiával, ezért fontos, hogy az autóban található eszközök minél nagyobb hatásfokú tápegységekkel legyenek ellátva. A 2020-as versenyszezonra egy teljesen új elektronikai rendszer került lefejlesztésre, melyben a DCDC konverterek a gyártói ajánlás alapján lettek beépítve, viszont nem hozták a várt teljesítményt és hatásfokot, ezért szükséges volt további számítások és szimulációk elvégzése. Az új eredményeknek köszönhetően sikerült már a várt értékeket elérni a korrigált konverterekkel.

Kulcsszavak: energiahatékony, hatásfok, szimuláció

Abstract: The SZEnergy Team has been participating in the Shell Eco Marathon, the world's largest energy efficiency competition, for many years. To this end, the goal is to develop a racing car that can cover the greatest possible distance with a unit of energy, so it is crucial that the devices in the car are equipped with the most efficient power supplies possible. For the 2020 racing season, a completely new electronic system was developed in which DCDC converters were installed according to the manufacturer's recommendation, but did not bring the expected performance and efficiency, so further calculations and simulations were required. Thanks to the new results, the expected values have already been achieved with new converters.

Keywords: energy efficient, efficiency, simulation

1. Bevezetés

A SZEnergia team versenyautója több olyan eszközzel van felszerelve, amely szükséges az autó működéséhez, adatok gyűjtéséhez és a városi közlekedésben használt fény [1] és hangjelzésekhez. Ezeknek az eszközöknek szükséges helyileg előállítani a megfelelő tápellátást, amelyet minden esetben egy a nyákra felhelyezett DCDC konverter végez el [2]. Az autó fő rendszerfeszültsége az akkumulátorok töltöttségétől függően 44V és 50V között mozog. A konvertereknek képesnek kell az említett nagyságú bemeneti feszültséget is kezelni és általában 5V vagy 3,3V kimeneti feszültséget előállítani.

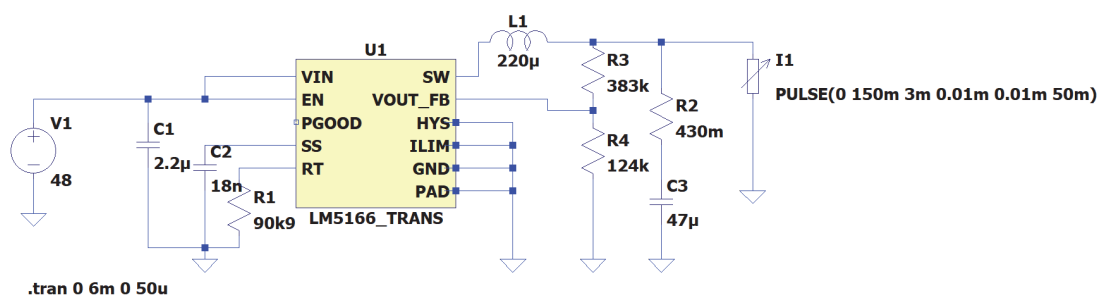
2. Problémakör

A 2020-as szezonra egy teljesen új elektronikai rendszert került megtervezésre a versenyautóba. Minden egyes eszközhöz szükséges volt egy olyan DCDC konverter alkalmazása, amely az 1. táblázatban látható bemeneti paramétereknek megfelel.

Paraméter:	Érték
Bemeneti feszültség	44V – 50V DC
Kimeneti feszültség	5V DC
Kimeneti áram	0,5A
Hatásfok	<80%

1. táblázat. DCDC konverter választásához szükséges bemeneti paraméterek.

A kiválasztott konverter a Texas Instruments által gyártott LM5166, mely megfelel a fentebb említett paramétereknek, nagy hatásfokkal rendelkezik és a nyomtatott áramkörön kis helyet foglal el. A gyártói leírás alapján lett a konverter beépítve az eszközökbe, ezt az összeállítást a 1. ábrán lehet látni.



1. ábra LM5166 kapcsolási rajza gyártói ajánlás alapján.

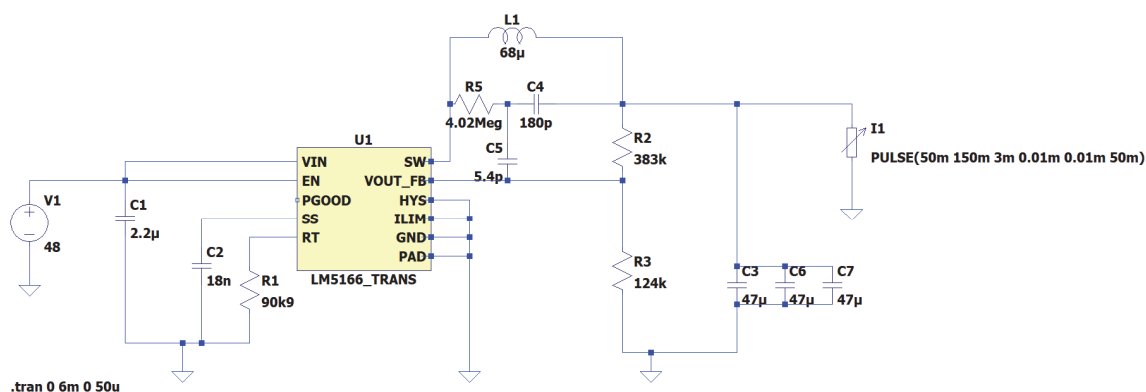
A tesztlések során kiderült, hogy a konverter nem működik megfelelően. Oszilloszkópos mérések bebizonyították, hogy a konverter kimeneti feszültség hullámossága megközelítette a 600mV-ot is, amellyel már az áramkörökön található mikrovezérlők működőképességét veszélyeztette. Ezért szükséges volt a konverter működését szimulációs környezetben is megvizsgálni.

3. Konverter korrekciója

A javítás célja, hogy a kimeneti feszültség hullámossága és az eldisszipált hő értéke a lehető legkisebb legyen. A gyártó által közzétett részletes leírás pontosan végig visz a konverter és a környezetének pontos méretezésén [3]. A számításoknál figyelembe kell venni, hogy egyes alkatrész paramétereit nekünk kell megválasztani, itt célszerű már egy kiválasztott elemet felhasználni.

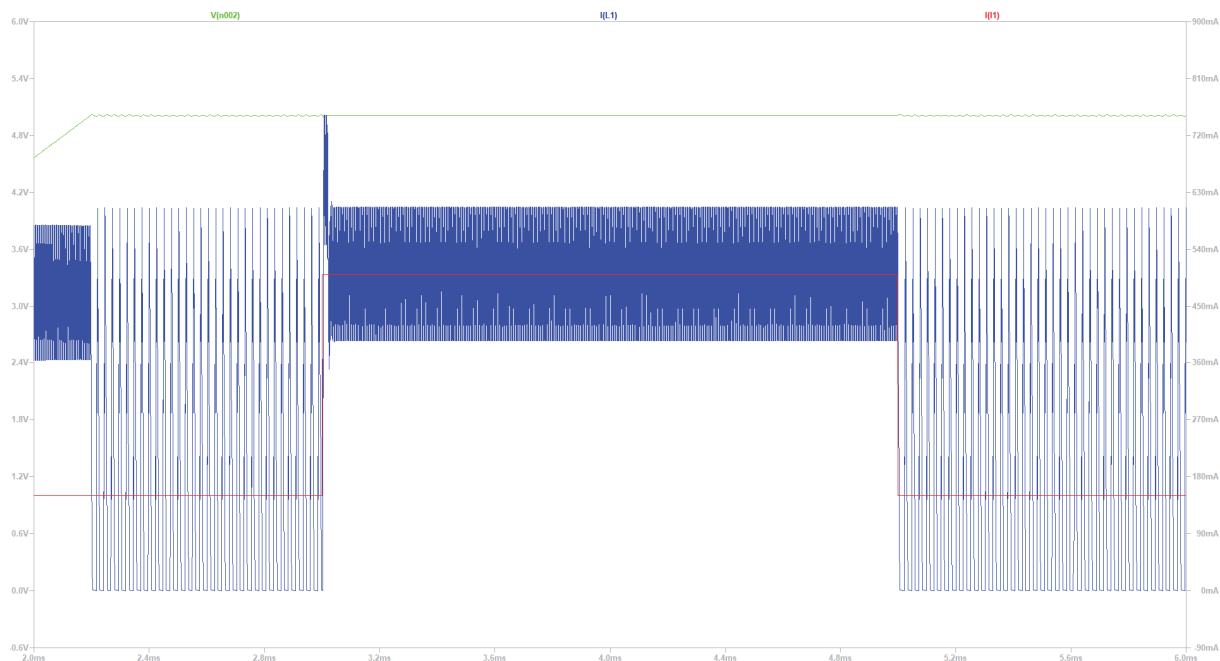
Működés közben a konverterben található kapcsoló rákapcsolja a tápfeszültséget rákapcsolja a kimenetre, majd leválasztja azt, ebben a pillanatban a kimeneti tekercsen elkezd csökkenni az áramérték és a kimeneti feszültség is. A visszacsatoláson keresztül érzékeli a konverter mikor kell a ciklust újrakezdenie, azonban, ha a visszacsatoló körön a feszültség nem csökken azonos fázisban a tekercs árammal, bizonytalanná válhat a konverter működése. Ennek érdekében a gyártó különböző módszereket ad meg a kimeneti feszültség pontos mérésére. A mi eszközeinknél kritikus a nagy hatásfok, és a lehető legkisebb feszültség-hullámosság, ezért a Type-3 típusú hullámképzést alkalmaztunk [3]. A konverter SW kapcsoló lábáról egy RC körön közvetlenül van visszacsatolva a feszültség, így nem a kimenet van felhasználva. A kimeneten található R_{esr} ellenállás ezért már nem szükséges, így csökken a kimenettel párhuzamosan csatolt ellenállás értéke.

A szimulációk elvégzéséhez az LTSpice szoftvert használtam. A konverter pontos szimulációs modellje elérhető a gyártó honlapjáról, viszont a környezetet fel kellett építeni. Az elkészült kapcsolás a **2. ábrán** látható.



2. ábra LM5166 Type-3 típusú hullámképzéssel.

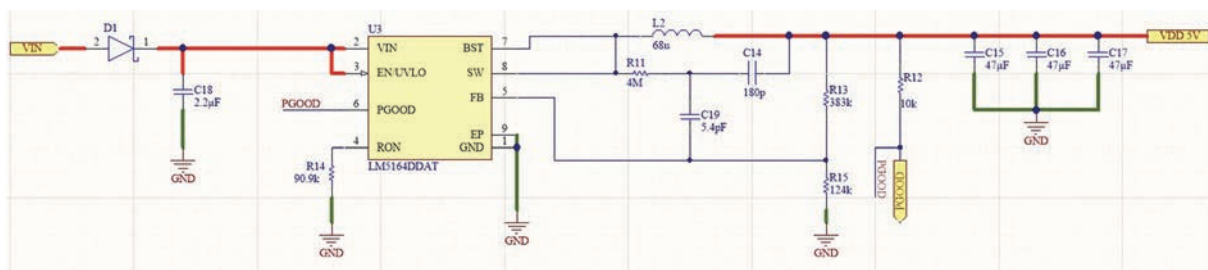
A kimeneten található egy állandó 150mA nagyságú terhelés, amely 3ms idő után 500mA nagyságúra nő, ezzel tesztelve a terhelésváltozásnál fellépő tranziens jelenségeket. A szimulációs eredmények a **3. ábrán** láthatóak. A grafikonon három érték van vizsgálva: a tekercsben folyó áram (kék), a kimeneti feszültség (zöld) és a terhelés mértéke (piros). Jól látható, hogy 150mA terhelés mellett a konverter DCM (Discontinuous Current Mode) üzemmódban működik, ugyanis a tekercsben nem folyik áram minden időpillanatban [2]. A nagyobb terhelésnél már átvált a konverter CCM (Continuous Current Mode) üzemmódba. A kimeneti feszültség hullámossága függ a terheléstől, viszont jól látható, hogy nagyságrendekkel kisebb, mint a korábbi verzióban. A mérések alapján körülbelül 15mV-20mV a kimeneti feszültség kilengése.



3. ábra Szimulációs eredmények állandósult állapotban terhelés változással.

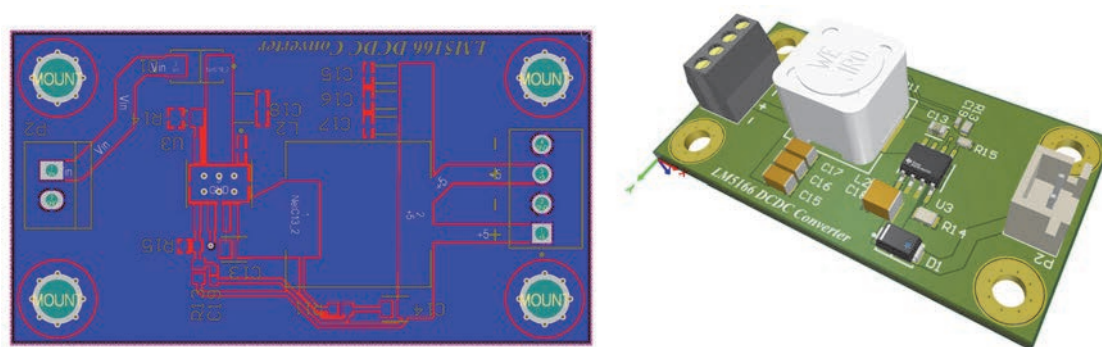
4. Áramkör tervezése

A szimulációs eredmények kiértékelése után egy különálló konverter áramkör került megtervezésre, amely bárhol felhasználható. A tervek Altium Designer-ben készültek el. Először a kapcsolási rajzt kellett elkészíteni, ami a **4. ábrán** látható



4. ábra LM5166 DCDC konverter kapcsolási rajza.

A kapcsolási rajz alapján lehet a valós nyomtatott áramköri (továbbiakban PCB) terveket elkészíteni. A gyártó külön kitér arra, hogy egyes alkatrészek elhelyezésére külön kell figyelni, például a visszacsatoláson található feszültségosztó vagy a bemeneti kondenzátor, hogy a konverter zavarmentesen tudjon működni. Az elkészült áramkör az **5. ábrán** látható.



5. ábra LM5166 DCDC Konverter PCB és 3D-s modellje.

5. Összefoglalás

A projekt során sikerült egy hibásan működő konverter hibáit feltárni, majd azokat számításokkal és szimulációs eredményekkel alátámasztva kijavítani. Az LTSpice környezet mellett a kapott eredmények a Texas Instruments saját szimulációs környezetében is ellenőrizve lettek, hasonló eredménnyel. Ez a konverter összeállítás amellet, hogy nagy bemeneti feszültség tartománnyal operál, nagy hatásfokkal üzemel, ezért ideális beágyazott rendszerekbe illesztésére és energiahatékony alkalmazásokba is implementálni.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Gulyás Péter, Szakállas Gábor: *Energiahatékony versenyjárműbe tervezett komplex világítási rendszer*; In: Barabás, István (szerk.) **XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia OGÉT 2020** Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, (2020) pp. 211-214., 4 p. - ISSN 2668-968
- [2] dr. Puklus Zoltán, Teljesítményelektronika, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2007, pp 67-80
- [3] LM5166 Synchronous Buck Converter
(<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5166.pdf>)
(utolsó látogatás: 2020.11.07.)

A lítium polimer akkumulátorok alakváltozás mérése digitális képkorrelációs eljárás segítségével

Deformation measurement of lithium polymer batteries using a DIC method

Kocsis Szürke Szabolcs^a, Dineva Adrien^b, Szalai Szabolcs^c, Lakatos István^d

^a 9026 Győr, Egyetem tér 1/Széchenyi István Egyetem/Járműipari Kutatóközpont
kocsis.szabolcs@ga.sze.hu

^b 9026 Győr, Egyetem tér 1/Széchenyi István Egyetem/Járműipari Kutatóközpont
dineva.adrienn@kvk.uni-obuda.hu

^c 9026 Győr, Egyetem tér 1/Széchenyi István Egyetem/Járműgyártási Tanszék
szalai.szabolcs@ga.sze.hu

^d 9026 Győr, Egyetem tér 1/Széchenyi István Egyetem/ Közúti és Vasúti Járművek Tanszék
lakatos@sze.hu

Absztrakt: Ebben a publikációban a lítium polimer akkumulátorok alakváltozást mértük digitális képkorrelációs eljárás segítségével, amelyhez GOM gyártmányú felület digitalizáló rendszer használtunk fel. Teszteket hajtottunk végre a cella töltés és kisütés során is. Részletesen bemutatjuk a teljes mérési és elemzési folyamatot az előkészítéstől az adatfeldolgozásig. A villamos és a felület digitalizálási pontokat összesítve, a töltöttség szint függvényében adatmátrixokba rendezve tároljuk. A kapott értékeket pedig statisztikai módszerrel értékeltük ki. Az OWA algoritmus segítségével hatékonyan megszűrtük a hibáktól és kiugró értékektől az alakváltozási adatbázist. Továbbá a nyers és a szűrt adatokat összehasonlítottuk és kiértékeltek. Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy az általunk bemutatott újszerű eljárás segítségével hatékonyan lehet kritikus régiókat meghatározni a lítium polimer akkumulátoron.

Kulcsszavak: lítium polimer akkumulátor, felület digitalizálás, digitális képkorrelációs, GOM, OWA, akkumulátor tesztelés

Abstract: In this publication, the deformation of lithium polymer batteries was measured using a digital image correlation method using a GOM surface digitization system. We present in detail the entire measurement and analysis process from preparation to data processing. The electrical and surface digitization points are stored together, arranged in data matrices depending on the charge level. The obtained values were evaluated by a statistical method. Using the OWA algorithm, we effectively filtered the deformation database from errors and outliers. Furthermore, raw and filtered data were compared and evaluated. Based on the results, we concluded that the novel method presented by us can be used to efficiently determine critical regions on the lithium polymer battery.

Keywords: lithium polymer battery, DIC, surface digitization, GOM, OWA, battery testing

1. Bevezetés

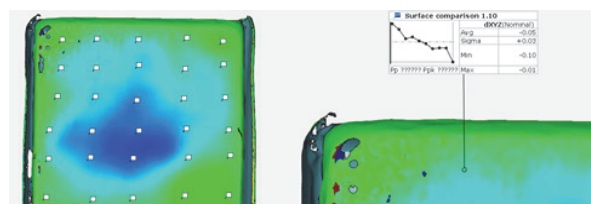
Napjainkban az új típusú lítium-ion akkumulátorokat széles körben alkalmazzák az elektromos járművektől a komplex energetikai rendszerekig villamosenergia tárolás céljából, elsősorban a nagy energiasűrűségüknek és hosszú élettartamuknak köszönhetően [1-2]. Az általános nézőpont szerint az akkumulátor cellák vastagsága állandó marad a mindennapi használat során. Azonban a gyakorlatban ez nem igaz, a lítium ion- és polimer elemek szerkezetben és méretben is dinamikusan változnak. Az akkumulátorok általában töltés közben növekednek és összehúzódnak kisütés során [3-6]. Az előző publikációnkban bemutatott akkumulátor alakváltozás méréshez kapcsolódó eredmények alapján megállapítottuk, hogy a cella csak akkor púposodik vagy húzódik össze, ha terhelés vagy töltés alatt van [7]. Tehát, ha a cellát nem terheljük vagy töltjük, akkor tudunk optikai módszerrel is mérni alakváltozást. A rengeteg előnyének köszönhetően - mint a könnyű kísérleti beállítások, egyszerű implementáció, a variálhatóság, és a széles körben állítható idő és térbeli felbontás - a DIC (digitális képkorrelációs eljárás) technika általánosan elfogadottá vált, mint erős és rugalmas eszköze a különböző anyagok mozgás és alakváltozás mérésének [8-9]. Ebből kifolyólag az itt bemutatásra kerülő, az akkumulátorok alakváltozásának tanulmányozására irányuló munka alapját a digitális képkorrelációs eljárás képezi.

2. Mérési összeállítás

Az alakváltozás tanulmányozása során a GOM ATOS optikai felületdigitalizáló mérőrendszerrel végeztünk méréseket, amely segítségével el lehet érni akár $\pm 1-2 \mu\text{m}$ mérési pontosságot is. Ezzel az eszközzel szoktak lemezalkatrészeket, fröccsöntött alkatrészeket és megmunkáló szerszámokat is mérni, bevizsgálni [8-9]. A mérőegységben kettő kamera található, az egyik kamera a referencia pontok alapján digitalizálja az adott tárgyat, a második pedig kontrol kameraként funkcionál. Fontos, hogy a mérendő tárgyon ne legyen fényvisszaverő felület, ellenkező esetben speciális anti-reflex festékkel kell vékonyan bevonni a vizsgált elemet. A következő ábrákon a mérőrendszer, a felhasznált cella és a teszt során felvett pontok láthatók:



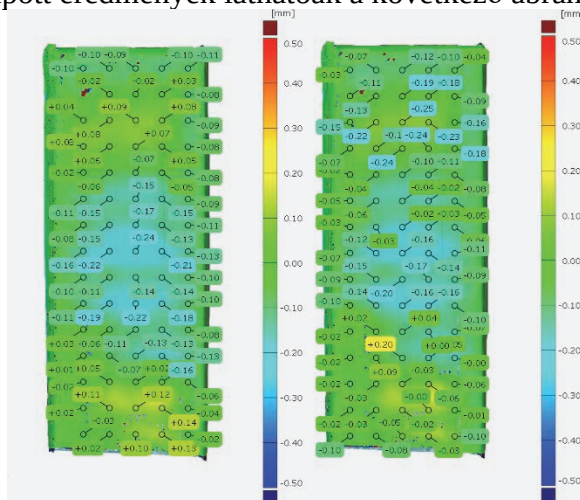
1. ábra Lítium polimer akkumulátor digitalizálása



2. ábra GOM mérés során felvett pontok és az alakváltozási trend

Az 1. ábra a rögzített cella és referencia pontozott akkumulátor látható, a 2. ábrán pedig a mérés után felvett pontok. A digitalizáció során több millió mérési pont keletkezik, így ki kell választani néhányat, lehetőleg egyenlő távolságra egymástól (2. ábra balról). A felvett pontokon létrehozunk egy trendet (2. ábra jobbról), amely a kiindulási képtől a végső állapotig kirajzolja

az adott pont változásait. A következő lépés az összes pont trendvonalának a felvétele. Teljesen merített állapot során kapott eredmények láthatóak a következő ábrán:



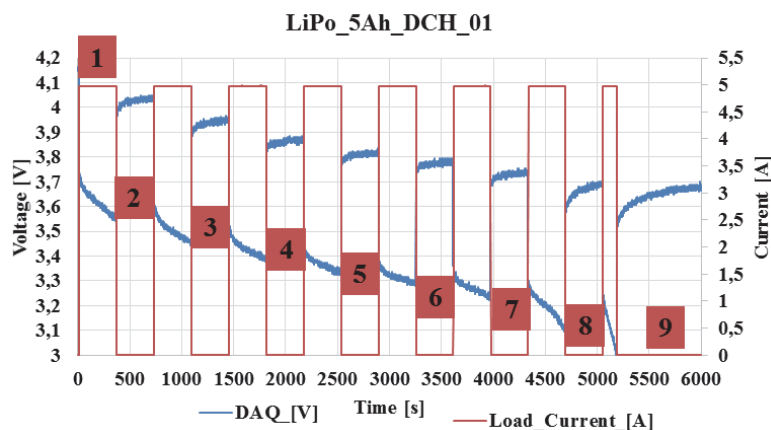
3. ábra GOM segítségével rögzített értékek

A 3. ábrán jobbról a cella A oldala, balról, pedig a B oldala látható. Az ábra alapján megállapítható, hogy a lítium polimer akkumulátor alakváltozás aszimmetrikus a két oldalát tekintve, továbbá a legnagyobb alakváltozás helyét sem lehet egységesen meghatározni.

A töltés és a kisütéses vizsgálatokhoz felhasznált tápegység Hameg HMP 4030, a műterhelés EL3000 és adatgyűjtő kártya pedig NI 9201 típusú [7]. A tesztelések általános a menete a következő volt:

- Az akkumulátor teljes feltöltése 100%-SOC elérése.
- A teljesen feltöltött állapot digitalizálása.
- Terhelés megkezdése és minden 360s után megszakítás és digitalizálás.
- Általánosan így akkumulátorról kép készült: 100%, 90%... 10% és 0% töltöttségi szintjéről is.
- Egy óra pihentetés.
- A teljesen lemerült állapot újból digitalizálása.
- Töltés megkezdése és minden 360s után megszakítás és digitalizálás.
- Általánosan ebben az esetben is kép készült: 0%, 10%... 90% és 100% töltöttségi szintjéről is.

A 4. ábrán a lítium polimer akkumulátor kisütési profilja látható az áram és a feszültség függvényében:



4. ábra A lítium polimer akkumulátor kisütése 1C-vel

Az 4. ábrán látható számoknál történt digitalizálás, ezen teszt során összesen 9 mérést hajtottunk végre. Voltak olyan esetek, ahol több, akár 20 pont is felvételre került, de minden esetben villamos paraméterekkel együtt tároltuk az adatokat, így minden megszakítás kifejezhető a töltöttségi szint függvényében is. Ez fontos az összehasonlíthatóság érdekében. A következő, 5. ábrán a digitalizációból származó adatokat töltöttségi pothoz rendelt és adatbázisba rendezet állapotba látható:

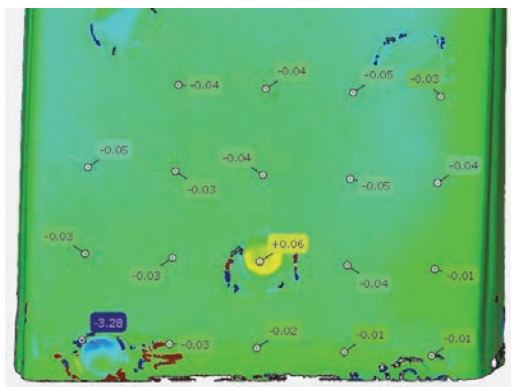
SOC [%] - 9-B		0,00		
-0,103	-0,098	-0,087	-0,098	-0,110
0,000	-0,021	-0,016	0,035	-0,084
0,039	0,077	0,091	0,086	-0,089
0,081	0,058	0,068	0,047	-0,077
-0,015	-0,057	-0,075	-0,050	-0,085
-0,107	-0,147	-0,155	-0,148	-0,088
-0,083	-0,149	-0,168	-0,131	-0,111
-0,159	-0,220	-0,236	-0,210	-0,128
-0,103	-0,110	-0,140	-0,139	-0,105
-0,105	-0,191	-0,221	-0,179	-0,097
0,034	-0,064	-0,115	-0,130	-0,085
0,014	-0,071	-0,130	-0,165	-0,126
-0,020	0,053	0,021	0,044	-0,062
0,022	0,106	0,116	0,137	-0,040
-0,030	0,017	0,103	0,129	-0,018

5. ábra Alakváltozás adatok SOC függvényében

Látható, hogy 5 x 15 mátrixba rendeződnek az adatok, minden töltöttségi szinthez két ilyen táblázat tartozik egy az A-oldalra és egy a B-oldalra.

3. Adatok feldolgozása OWA operátort alkalmazó módszerrel

Az adatok rögzítésére megszakítások során van lehetőség, mivel ilyenkor nincs alakváltozás. Viszont erre viszonylag rövid idő (5 perc) áll rendelkezésre, ezért egyes esetekben nem sikerül tökéletesen digitalizálni. Ilyenkor viszont a GOM által készített háló sem lesz tökéletes. Tehát apróbb lyukak keletkeznek, amiről nincs adat és ide kerülhetnek be helytelen értékek is.



6. ábra GOM felszín, LiPo új cella, A-oldal 6. megszakítás

A 6. ábra látható erre egy példa, az ilyen jellegű lyukakat digitalizálás során nehéz észrevenni, így ritkán ugyan, de előfordulnak. (A hibás adat az ábra bal sarkában látható: -3,28-as értékkel). Amikor a mérés során legeneráljuk a ponthálót, akkor az ilyen és ehhez hasonló hibák láthatóvá

válnak. Azonban a mérés folyamatosan fut és ilyenkor már nem lehet ugyan olyan állapotot felvenni. (A mérés pontosságának az érdekében csak megszakítás során digitalizálunk.) Ezért szükség van valamilyen utólagos hibaszűrésre. A szakirodalomban több módszert is használnak hasonló problémákra, például [10-13], illetve fellelhetők képek szűrésére kidolgozott javaslatok különböző rendezett súlyozott átlagoló operátorok 2D-s alkalmazásával. Az eljárás hatékonysága a súlyvektor segítségével biztosítható. A statisztikai alapú elemzés másik számottevő előnye pedig az, hogy az egymáshoz közeli pontok közötti különbségek jól összefésülhetnek vele. Mivel a mérésekkel a cél, hogy átlagos alakváltozási adatból tudjuk töltöttségi szintet becsülni, ezért a kiugró értékek jelentősen megnehezíthetik ezt. Az adatok feldolgozásának az első lépése az adatbázis beolvasása és az algoritmus segítségével történő újrendezése:

SOC [%] - 11			100,00	
0,107	0,129	0,112	0,057	0,044
0,117	0,117	0,110	0,111	0,131
0,107	0,102	0,104	0,110	0,122
0,102	0,099	0,103	0,106	0,157
0,089	0,088	0,058	0,099	0,154
0,086	0,083	0,085	0,092	0,141
0,091	0,086	0,065	0,032	0,059
0,079	0,018	-0,031	-0,014	0,039
0,084	0,089	0,084	0,092	0,153
0,080	0,091	0,085	0,098	0,133
0,074	0,093	0,096	0,093	0,102
0,093	0,113	0,108	0,127	0,121
0,075	0,099	0,096	0,143	0,113
0,036	0,049	0,031	0,038	0,047

7. ábra Felhasznált adatbázis

A 7. ábrán sárgával jelölve a szűrendő pont, a meghatározáshoz a késsel jelölt a 3 X 3 mátrix adatait használtuk fel. A következő összefüggés alapján, határoztuk meg a mátrixból kinyert adatok sorrendjét:

$$(I(x-1; y-1); I(x-1; y); I(x-1; y+1); I(x; y-1); I(x; y); I(x; y+1); I(x+1; y-1); I(x+1; y); I(x+1; y+1)) \quad (1)$$

$$\begin{matrix} I_3 & I_6 & I_9 \\ I_2 & I_5 & I_8 \\ I_1 & I_4 & I_7 \end{matrix} I_8 = [I_1 \ I_2 \ I_3 \ I_4 \ I_5 \ I_6 \ I_7 \ I_8 \ I_9] = a \quad (2)$$

A súlymátrix megfelelő beállítása biztosítja a kívánt szűrés finomság elérését, a kiugró értékek hatékony kiszűrése céljából a következő empirikusan meghatározott értékeket alkalmaztuk

$$W_n = [0; 0,075; 0,125; 0,175; 0,250; 0,175; 0,125; 0,075; 0] \quad (3)$$

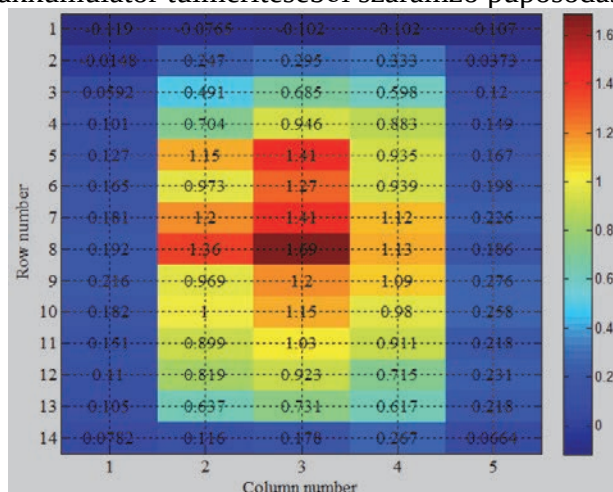
Az értékek alapján látható, hogy az adatok sorbarendezése után a cél az outlier értékek kiszűrése. A fenti súlyvektor a rendezett súlyozott átlagoló operátorban OWA(Ordered Weighted Averaging) került alkalmazásra, amely formálisan, az alábbiak szerint definiálható:

$$F(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n W_j b_j \quad (4)$$

A képletben szereplő b_j -a csökkenő sorrendben rendezett a_i értékeket jelenti.

4. Kapott eredmények

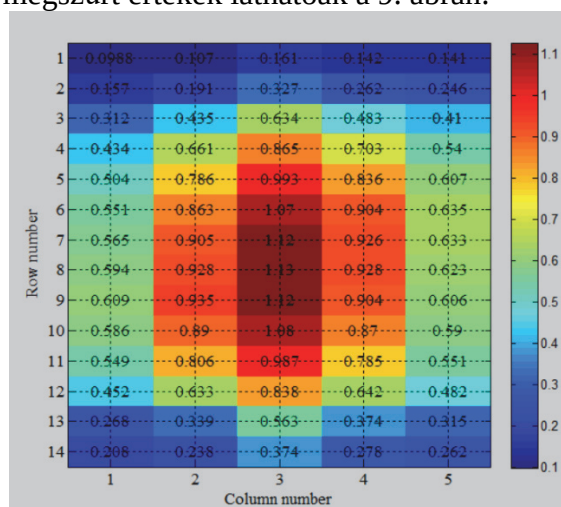
Az eredmények megállapításához töltöttségi szintenként dolgoztuk fel a mérési eredményeket. A következő ábrán az akkumulátor túlmerítéséből származó púposodás látható:



8. ábra A hibás állapot elérés után kapott alakváltozási térkép

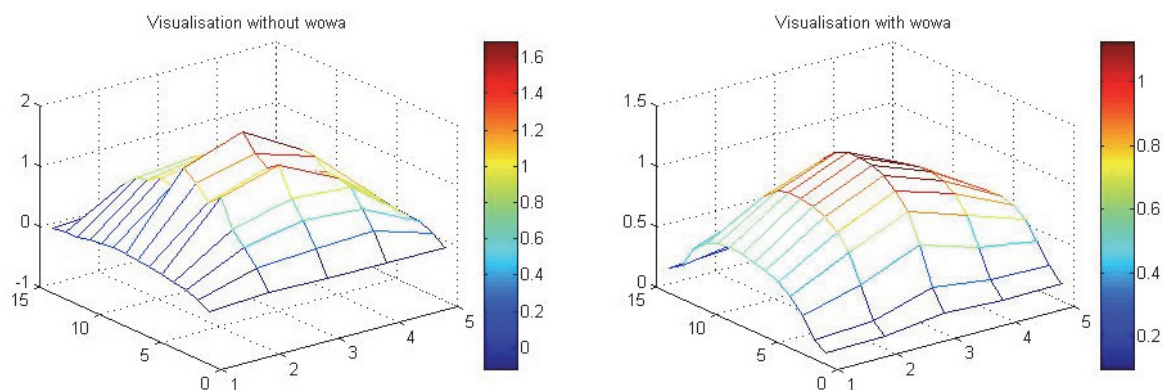
A 8-ik ábrán látható értékek mm-ben értendőek, a cellát összesen 5 oszlopra és 15 sorra osztottuk fel. A teszt során az akkumulátort 0V-ig merítettük. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az ilyen jellegű merítés jelentős púposodást okoz. A térkép alapján pedig megfigyelhető, hogy leginkább a cella középső része változott.

A szűrés során minden egyes adatponthoz meghatároztuk a hozzá tartozó 3X3 mátrixot az 1-es képlet alapján. A kapott értékeket ezek után növekvő sorrendbe rendeztük és alkalmaztuk a súlyozást. Az így kapott megszürt értékek láthatóak a 9. ábrán:



9. ábra A hibás állapot elérés után kapott alakváltozási térkép OWA algoritmussal

Látható, hogy a szűrt adatok eltüntetik a kiugró értékeket, esetleges hibákat és egy egységesebb térképe alakul ki. A 10. ábrán a mért és a szűrt értékek összehasonlítása látható vizualizáció után:



10. ábra A nyert és a szűrt adatok vizualizációja

A vizualizáció segítségével jobban megfigyelhető, ahogy az algoritmus összesimítja az akkumulátor felületét. A lokális minimum és maximum eltűnésével a kritikus zóna könnyebben kijelölhető. Ezen teszt során a legnagyobb alakváltozás a cella középső részén figyelhető meg. (Pontosabban a 3. oszlop 6-7-8-9-10 pontja a legkritikusabb)

5. Összegzés

Az akkumulátor felület digitalizálása egy új és korszerű eljárás, amellyel nagyon pontos képet kaphatunk a cellák alakváltozásáról a töltés és kisütés során. A kapott adatok statisztikai módszerrel való átdolgozása a mérési adatok egyenletesebb eloszlásúvá teszi. Megkönnyítve ezzel a kritikus pontok meghatározását és az adatok töltöttségi szinthez való hozzá rendelését. A rendezett súlyozó átlagolás 2D konvolúciós szűrőben való alkalmazásának implementálása digitális képkorrelációs eljáráshoz egy újszerű megközelítést mutatja be egy aktuális mérnöki problémának. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az eljárás jól használható alakváltozási adatok szűrésére. A kutatás következő lépése a mérési eredmények alapján a lítium polimer akkumulátorok kritikus régióinak a meghatározása.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] J. B. Dunn, L. Gaines, J. C. Kelly, C. James, and K. G. Gallagher, “The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling’s role in its reduction,” *Energy Environ. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 158–168, 2015, doi: 10.1039/c4ee03029j.

- [2] K. Smith and C. Y. Wang, “Power and thermal characterization of a lithium-ion battery pack for hybrid-electric vehicles,” *J. Power Sources*, vol. 160, no. 1, pp. 662–673, 2006, doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.01.038.
- [3] J. H. Lee, H. M. Lee, and S. Ahn, “Battery dimensional changes occurring during charge/discharge cycles - Thin rectangular lithium ion and polymer cells,” *J. Power Sources*, vol. 119–121, pp. 833–837, 2003, doi: 10.1016/S0378-7753(03)00281-7.
- [4] K. Y. Oh et al., “Rate dependence of swelling in lithium-ion cells,” *J. Power Sources*, vol. 267, pp. 197–202, 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.05.039.
- [5] B. Rieger, S. Schlueter, S. V. Erhard, J. Schmalz, G. Reinhart, and A. Jossen, “Multi-scale investigation of thickness changes in a commercial pouch type lithium-ion battery,” *J. Energy Storage*, vol. 6, pp. 213–221, 2016, doi: 10.1016/j.est.2016.01.006.
- [6] H. Popp, M. Koller, M. Jahn, and A. Bergmann, “Mechanical methods for state determination of Lithium-Ion secondary batteries: A review,” *J. Energy Storage*, vol. 32, no. September, p. 101859, 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101859.
- [7] S. Kocsis Szürke and I. Lakatos, "The lithium polymer battery swelling test with high-precision displacement sensors," 2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2018, pp. 1-4.
- [8] Vagovský J., Buranský I. and Görög A. Evaluation of measuring capability of the optical 3D scanner. *Procedia Eng.* 2015;100:1198–1206.
- [9] No, T., Gomez, M., Copenhaver, R., Uribe Perez, J., Tyler, C., and Schmitz, T., 2019, Scanning and Modeling for Non-standard Edge Geometry Endmills, *Procedia Manufacturing*, 34: 305-315
- [10] B. Llamazares, “A Behavioral Analysis of WOWA and SUOWA Operators,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 31, no. 8, pp. 827–851, 2016, doi: 10.1002/int.21806.
- [11] B. Llamazares, “An analysis of some functions that generalizes weighted means and OWA operators,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 28, no. 4, pp. 380–393, 2013, doi: 10.1002/int.21581.
- [12] L. A. Zadeh, *Studies in Fuzziness and Soft Computing: Foreword*, vol. 261. 2010.
- [13] E. Damiani, S. De Capitani di Vimercati, P. Samarati, and M. Viviani, “A WOWA-based Aggregation Technique on Trust Values Connected to Metadata,” *Electron. Notes Theor. Comput. Sci.*, vol. 157, no. 3, pp. 131–142, 2006, doi: 10.1016/j.entcs.2005.09.036.

Kettős impulzusos tesztkörnyezet kialakítása teljesítmény félvezetők kapcsolási jellemzőinek vizsgálatához

Development of a double-pulse test environment for investigating the switching characteristics of power semiconductors

Szakállas Gábor¹

¹Széchenyi István Egyetem - JKK

szgabor@ga.sze.hu

Absztrakt: Teljesítményelektronikai eszközök esetében a kapcsolási veszteségek valós problémát jelentenek. A fejlesztés során, még a végső termék elkészülte előtt, célszerű bizonyos tesztek végezni a prototípus eszközön, amelyek segítségével minimalizálni lehet a veszteségeket, optimalizálni lehet a működési paramétereket. Egy ilyen módszer a kettős impulzusos teszt, amely elfogadott és széleskörűen alkalmazott a teljesítményelektronikai eszközök kapcsolási jellemzőinek mérésére és a dinamikus viselkedésének vizsgálatára. A bemutatásra kerülő tesztkörnyezet célja a fejlesztés alatt álló motorvezérlő elektronikák teljesítmény végfokozatának ilyen célú tesztelése.

Kulcsszavak: kettős impulzusos teszt, kapcsolási teljesítmény, energiahatékonyság

Abstract: For power electronics devices, switching losses are a real problem. During development, even before the final product is completed, it is advisable to perform certain tests on the prototype device, which can be used to minimize losses and optimize operating parameters. One such method is the double pulse test, which is common and widely used to evaluate the switching characteristics of power electronics devices and to investigate their dynamic behavior. The purpose of the test environment presented is to test the power stage of the motor controller electronics under development for this purpose.

Keywords: double-pulse testing, switching performance, efficiency

1. Bevezetés

Teljesítményelektronikai eszközök tervezésénél fontos megérteni az alkalmazott félvezetők jellemzőit, és tanulmányozni a viselkedésüket. MOSFET vagy IGBT kapcsolási paramétereinek mérésére a kettős impulzusos teszt egy gyakran alkalmazott vizsgálati módszer. A teszt által vizsgálhatók a be- és kikapcsolási, valamint a záróirányú feléledési paraméterek, vagyis a dinamikus viselkedésük különféle körülmények között. Azonban nem csak a veszteségek és a hatékonyság becslésére alkalmas, hanem alkalmazható a tervezett készülék parazita viselkedésének és a tervezett kialakítás működésének megértésére is. Lehetővé teszi a legrosszabb üzemi körülmények létrehozását már a tervezési ciklus elején, és így csökkenthető az előre nem látható problémák későbbi felbukkanásának kockázata a fejlesztési folyamat során. A kapcsoló eszközök működtetéséhez két feszültségimpulzust kell létrehozni változó impulzusszélességgel és pontos időzítéssel, ami meglehetősen időigényes feladat a megfelelő tesztrendszer nélkül.

2. Kapcsolóeszközök jellemzői és működése

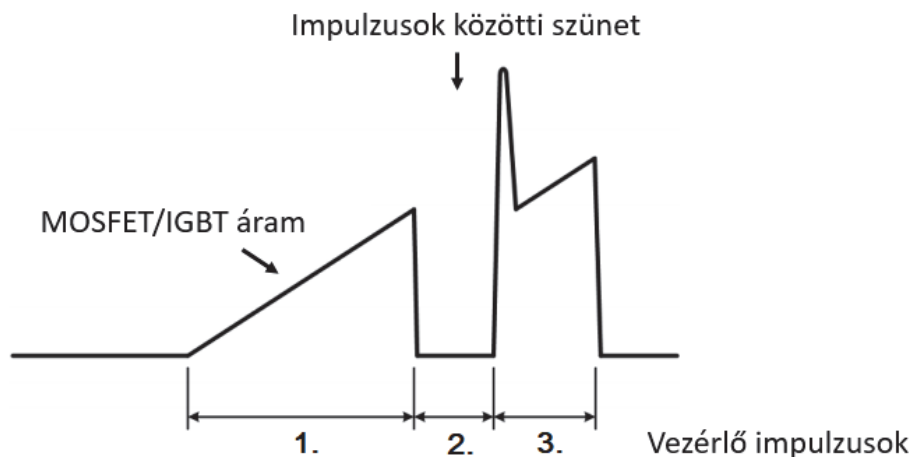
Ideális esetben a félvezető kapcsolóeszköz be- vagy kikapcsolt állapotban van, és ezen állapotok között azonnal képes átváltani. Bekapcsolt állapotban a kapcsoló impedanciája nulla, és nincs teljesítményvesztés, függetlenül attól, hogy mennyi áram folyik rajta keresztül. Kikapcsolt állapotban a kapcsoló impedanciája végtelen, és nem folyik rajta keresztül áram, tehát ebben az esetben sincs teljesítményvesztés. A gyakorlatban azonban az átváltások során teljesítményvesztés lép fel az áramkör nem-ideális viselkedése miatt, ami a bennük található parazita elemek miatt keletkezik. A gate elektródán lévő parazita kapacitások lelassítják az eszköz kapcsolási sebességét, meghosszabbítva a be- és kikapcsolási időket, a drain és source kivezetései közötti parazita ellenállásokon hővesztés keletkezik, amikor drain áram folyik. Az eszköz időbeli paramétereinek megméréseivel a kapcsolási veszteségeket minimálisra lehet csökkenteni, és ezáltal hatékonyabb átalakítókat lehet tervezni.

3. Double-pulse teszt

A kettős-impulzusos tesztelés egy módszer a kapcsolási paraméterek és a teljesítményelektronikai eszközök dinamikus viselkedésének vizsgálatára, amely a következő kapcsolási paraméterek mérésére alkalmas:

- Bekapcsolási paraméterek: Bekapcsolási késleltetés (t_d (be)), felfutási idő (t_r), t_{on} (bekapcsolási idő), E_{on} (bekapcsolási energia), dv/dt , és di/dt . Ezután meghatározzuk az energiavesztést.
- Kikapcsolási paraméterek: Kikapcsolási késleltetés (t_d (kikapcsolva)), lefutási idő (t_f), t_{off} (kikapcsolási idő), E_{off} (kikapcsolási energia), dv/dt és di/dt . Ezután meghatározzuk az energiavesztést.
- Záróirányú feléledési paraméterek: t_{rr} (záróirányú feléledési idő), I_{rr} (záróirányú feléledési áram), Q_{rr} (záróirányú feléledési töltésmennyiség), E_{rr} (záróirányú feléledési energia), di/dt és V_{sd} (nyitóirányú bekapcsolási feszültség).

A kettős impulzusos teszt lehetővé teszi a MOSFET/IGBT félvezető kapcsolók be- és kikapcsolását különböző áramszinteken, amelyet a kapcsolások időtartama határoz meg. A tesztelést induktív terheléssel végezzük, ami az áramköri körülmények biztosítására szolgál az átalakító kialakításában és egy függvénygenerátort használunk impulzusok előállítására, amelyek bekapcsolják a MOSFET-et a gate bemeneten keresztül.

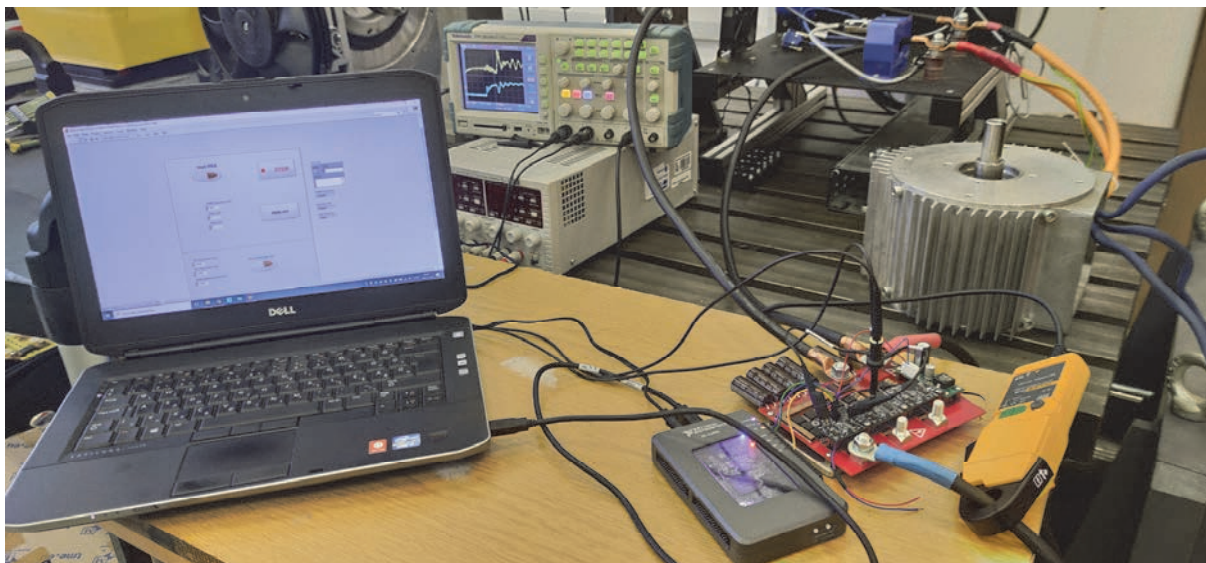


1. ábra Kettős impulzusos teszt vezérlő impulzusai

Az első impulzus bekapcsolja az alsó tranzisztort, és az induktivitáson keresztül áramot hajt át. Ennek olyan szélesnek kell lennie, hogy a kívánt terhelő áram alakuljon ki az induktivitáson keresztül. Ezután egy rövid szünet következik, majd egy második rövid impulzus, amely idő alatt a mérések elvégezhetők, illetve amit a félvezető károsodás nélkül elvisel. A kikapcsolási és bekapcsolási időzítések az első impulzus kikapcsolásakor és a második impulzus bekapcsolásakor kerülnek rögzítésre. Az áram értékében látható túllövés (1. ábra) annak köszönhető, hogy a flywheel dióda árama megfordul a felső kapcsolóelem esetén. Ez a tüske lényeges a tesztelt eszköz esetében, mivel hozzájárul az energiavesztéshez.

4. A tesztrendszer felépítése

A kettős impulzusos teszt elvégzéséhez a tesztrendszert a következőképpen építettük fel:



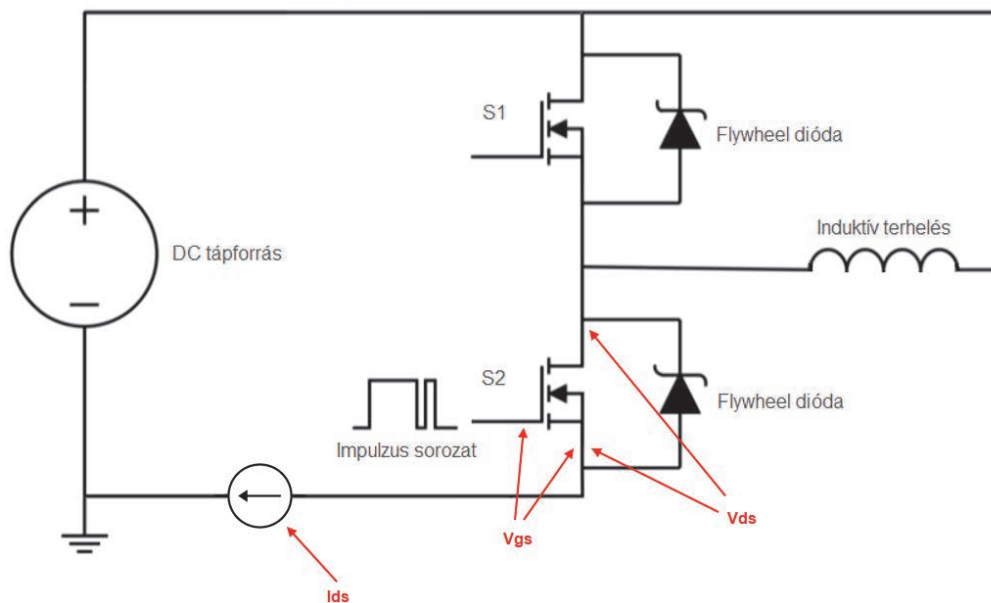
2. ábra Dupla impulzusos tesztrendszer összeállítás

Az összeállítás tartalmaz egy oszcilloszkópot megfelelő mérőszondákkal, árammérő lakatfogót, egy ~60 V, 40 Ah kapacitású li-ion akkumulátorokból álló tápforrást a terhelési feszültség előállítására. A teszt elvégzéséhez szükséges impulzusokat egy szoftveresen vezérelhető mérésadatgyűjtő és vezérlő eszköz állítja elő az izolált gate meghajtó számára, amelyet egy valós idejű operációs rendszert futtató és FPGA-val rendelkező mérésadatgyűjtő és vezérlő eszközzel (National Instruments MyRIO-1900) valósítottunk meg.



3. ábra Vezérlő impulzusok konfigurációs felülete Labview szoftverben

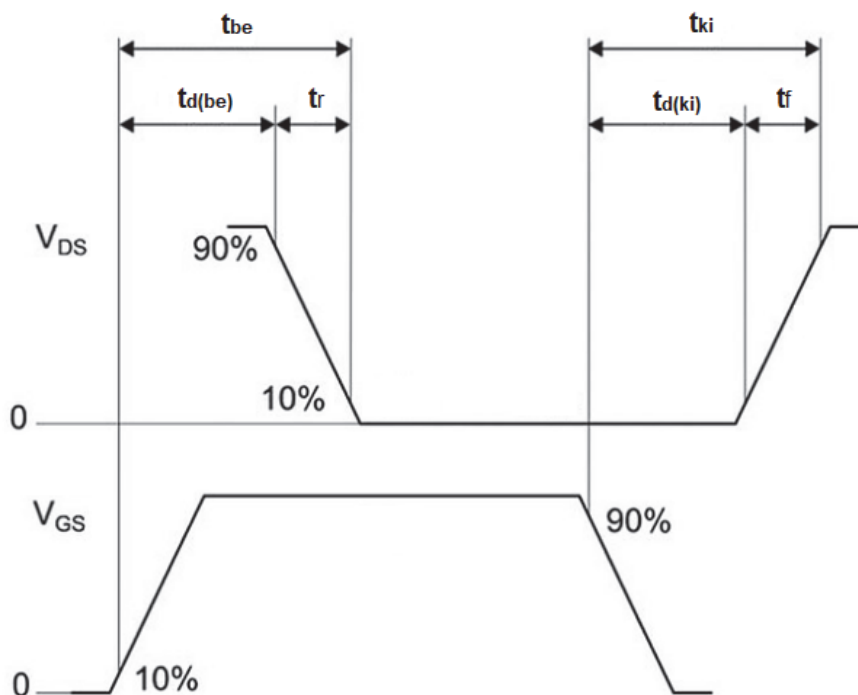
Az elkészült szoftver segítségével az előzőekben ismertetett impulzusok szélessége egyenként beállítható 40 ns lépésközzel a kívánt értékre és gombnyomásra kezdeményezhető az egyszer lefutó dupla impulzusok kiadása az eszköz digitális kimenetén keresztül.



4. ábra Mérési elrendezés a kettős impulzusos vizsgálathoz

5. Kettős impulzusos tesztek végrehajtása

A be- és kikapcsolási paraméterek kiszámításához az első impulzus lefutó élét és a második impulzus felfutó élét szükséges vizsgálni. A be- és kikapcsolási paraméterek mérésére szolgáló módszer az 5. ábrán látható, és a következőképpen történik:



5. ábra Kapcsolási paraméterek számításának módszere

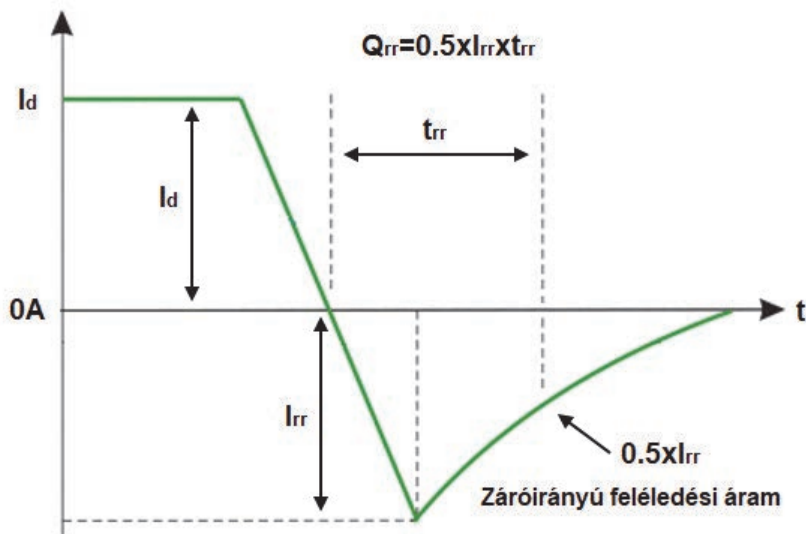
- $t_d (be)$: A V_{gs} csúcsának 10% -a és a V_{ds} közötti időintervallum a csúcs amplitúdójának 90% -án.
- t_r : A V_{ds} közötti időintervallum a csúcs amplitúdójának 90% -án és 10% -ánál
- $t_d (ki)$: A V_{gs} csúcsának 90% -a és a V_{ds} közötti időintervallum a csúcs amplitúdójának 10% -án.
- t_f : Az időintervallum a V_{ds} a csúcs amplitúdójának 10% -án és 90% -án.

A következő egyenletet segítségével számítható ki az energiaveszteség a bekapcsolási folyamat során:

$$E_{be} = \int_0^t V_{ds} I_{ds} dt$$

Ugyanaz a fenti egyenlet használható az energiaveszteségek kiszámításához a kikapcsolási átmenet során is. A tesztelési eljárás utolsó lépése a MOSFET fordított diódájának mérése. A záróirányú feléledési áram a második impulzus bekapcsolásakor fordul elő. Ilyenkor a dióda nyitóirányú állapotban vezet. Amint az alsó oldali MOSFET újra bekapcsol, a dióda azonnal záróirányú blokkolásba akar átkapcsolni. A dióda viszont rövid ideig záróirányú körülmények között működik, amelyet záróirányú feléledési áramnak neveznek. Ez az áram energiaveszteséggé alakul, amely közvetlenül befolyásolja a teljesítmény átalakító hatékonyságát. A méréseket a felső oldali MOSFET-en kell elvégezni úgy, hogy megmérjük az

I_d áramot a felső oldali MOSFET-en és a V_{sd} feszültséget a diódán keresztül. A 6. ábra a dióda záróirányú felélédesi paramétereinek meghatározását mutatja.

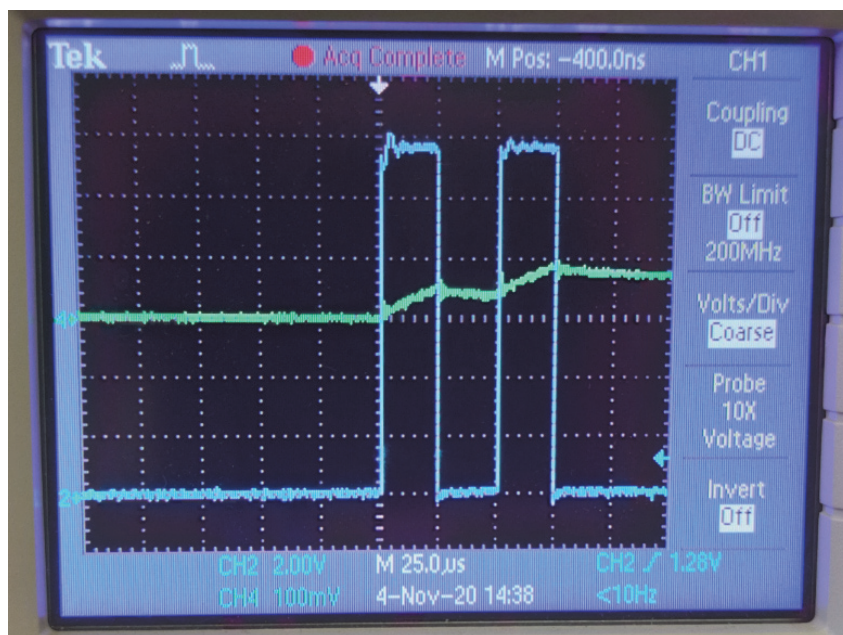


6. ábra Flywheel dióda záróirányú átkapcsolási paramétere

A következő egyenlet segítségével számítható ki az energiavesztés a dióda átkapcsolási folyamata során:

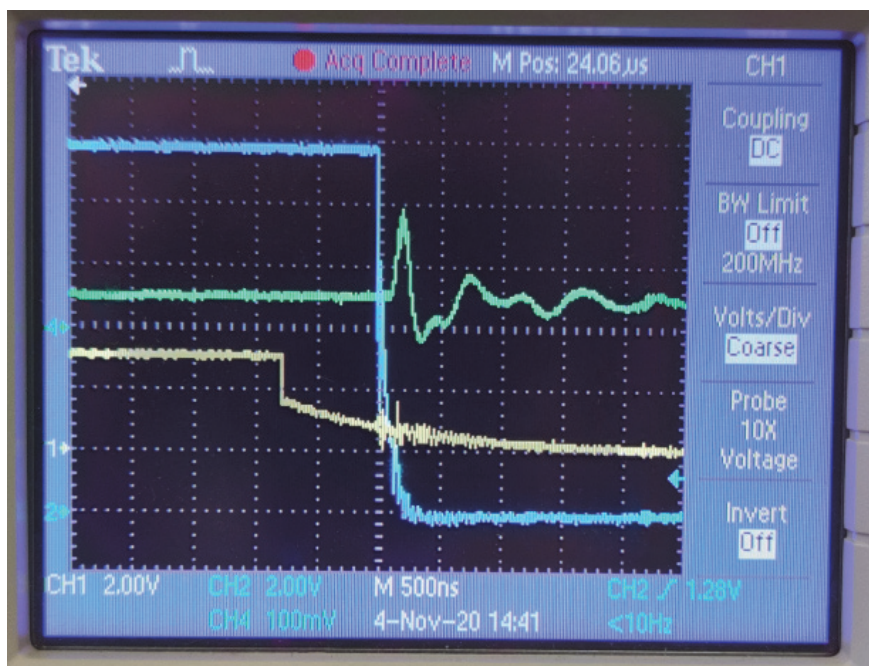
$$E_{rr} = \int_0^t V_{sd} I_{rr, max} dt$$

Az elkészült tesztrendszerrel méréseket végeztünk a jelenleg prototípus fázisban álló, 100 V és 300 A maximális paraméterekkel rendelkező motorvezérlő elektronikával.



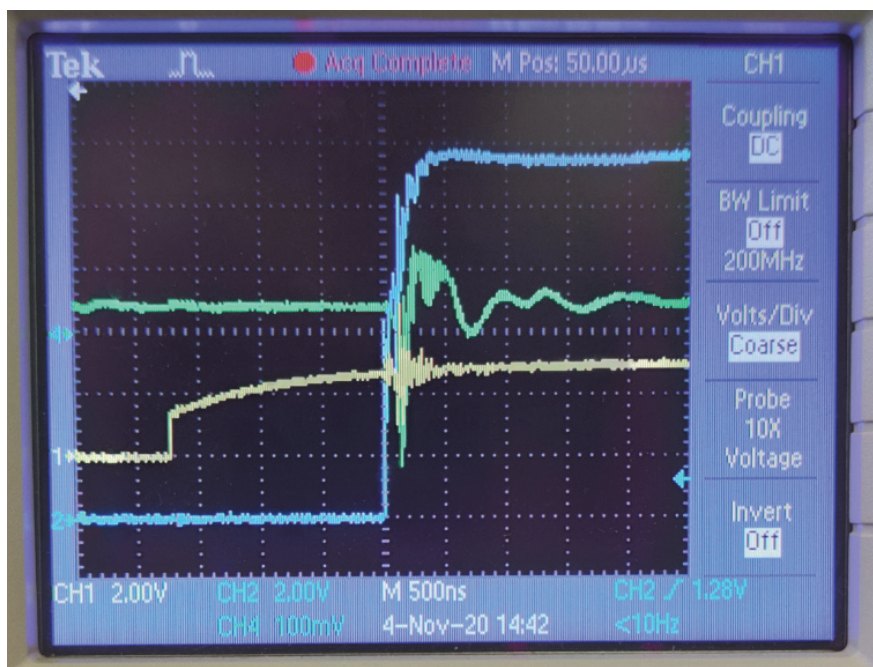
7. ábra 25μs impulzusok mellett 100A terhelés a MOSFET kapcsolón

A 7. ábrán látható a félvezetőn kialakuló áramérték 25 μs szélességű V_{gs} impulzusok esetén, amely mellett közel 100 A áram alakult ki az alsó MOSFET kapcsolón.



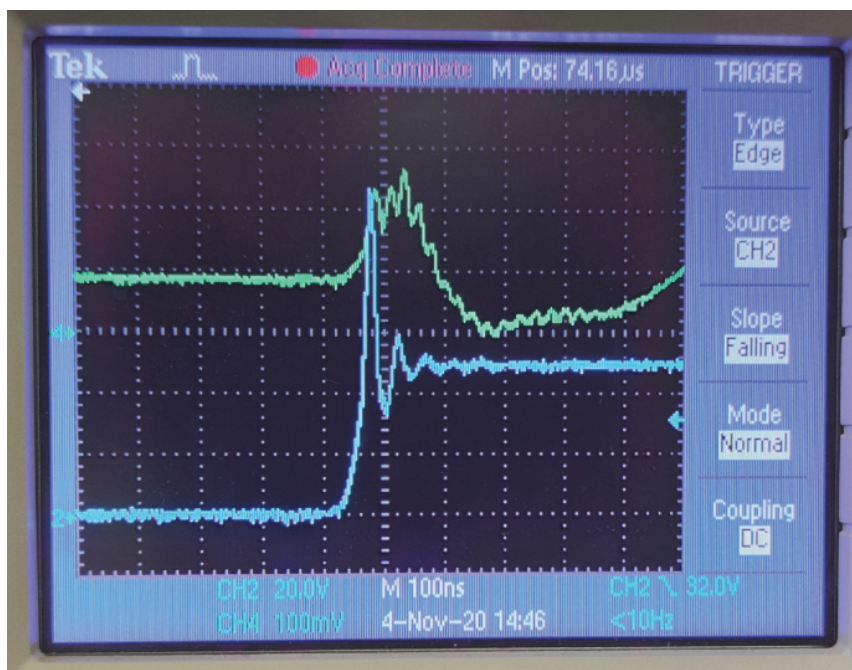
8. ábra Az első impulzus kikapcsolásának pillanata

A 8. ábrán a kettős impulzusos teszt első impulzusának kikapcsolása látható. Kék színnel a gate meghajtó áramkör vezérlő feszültsége, sárga színnel a vezérlő impulzus a függvénygenerátor kimenetén, zölddel pedig az árammérő által mért érték látható. Az árammérő 1 mV/A osztásban volt a mérés során. A mért jel alapján meghatározható a kikapcsolási késleltetése a gate vezérlő áramkörnek.



9. ábra A 2. impulzus bekapcsolásának pillanata

A 9. ábrán a 2. impulzus bekapcsolásának pillanata látható az előző képpel megegyező csatornakiosztással. A mért jel alapján meghatározható a bekapcsolási késleltetése a gate vezérlő áramkörnek, amit a beépített gate kapacitás értéke befolyásol.



10. ábra Vezérlő impulzus kikapcsolásának pillanata

A 10. ábrán a vezérlő impulzus kikapcsolása látható közel 100 A áram esetén. Zöld színnel az árammérő által mért érték, kék színnel pedig a V_{ds} feszültség látható. Megfigyelhető a felső MOSFET diódájának polaritás váltása miatt kialakuló feszültség túske, amely hozzáadódik az alsó kapcsolóelem V_{DS} feszültségéhez.

6. Összefoglalás

A kettős impulzusos teszt alkalmazható a fejlesztési folyamat során alkatrész szinttől kezdve egészen a végtermék elkészültéig, valamint az utólagos hibafeltárás és javítás során egyaránt. A különféle tesztesetek miatt képesnek kell lennie a rendszernek a paraméterek egyszerű és rugalmas megváltoztatására, valamint megismételhetően történő végrehajtására. Az összeállított tesztrendszer segítségével képesek vagyunk az inverter fejlesztési folyamat során vizsgálni a kapcsolási jellemzőit a tervezett áramköröknek. Az elvégzett mérések alapján, néhány finomhangolást követően, egy megbízhatóan működő dupla-impulzusos összeállítást sikerült készítenünk, amelyet a jelenlegi és a jövőben fejlesztendő eszközeink esetén is szeretnénk majd használni. A mérések során alkalmazott árammérő lakatfogó sáv szélessége, közös módusú jellemzői kevésnek bizonyultak, ami miatt a megjelenített áram jelalakok csak nagyságrendileg mutatják helyesen a pillanatnyi áramértékeket.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] David Levett, Ziqing Zheng and Tim Frank: Double Pulse Testing: The How, What and Why, Infineon; Bodo's Power Systems, 04.2020., p. 30-35.
- [2] Hanna Al Fahel: Evaluate Power Device Efficiency with DoublePulse Testing Using an AFG, Tektronix Application Note, Electronic Design

Nagyteljesítményű, alacsony feszültségű motormeghajtó inverter fejlesztése

Development of a high-performance, low-voltage motor drive inverter

Szeli Zoltán¹

¹Széchenyi István University SZE-AUT, SZE-JKK Győr, Hungary
szeliz@ga.sze.hu

Absztrakt: Napjaink legelterjedtebb járműben használatos villamos motor típusai az aszinkron, az állandó mágneses kefe nélküli DC (BLDC) és az állandó mágneses szinkron (PMS) motorok. Ezen típusú motorok meghajtására három fázisú feszültség invertereket használunk. A piacon számos teljesítményszintű, különféle kivitelű és technológiai megoldást használó inverter elérhető. A közös probléma ezekben az eszközökben, hogy a vezérlő szoftver fekete doboznak tekinthető, annak működése nem nyitott a felhasználó számára, az elérhető funkcionalitás korlátozott. A próbapadi alkalmazás esetében indokolt egy szabadon parameterezhető, az egyedi igények kielégítésére alkalmas vezérlő tervezése. Ez a cikk egy próbapadi alkalmazási célnak megfelelő, alacsony feszültségű, 20kW teljesítményű inverter hardveres fejlesztését mutatja be.

Kulcsszavak: villamos hajtás, 3 fázisú inverter, villamos próbapad

Abstract: The most common types of electric motors used in vehicles today are asynchronous, permanent magnetic brushless DC (BLDC), and permanent magnetic synchronous (PMS) motors. Three-phase voltage inverters are used to drive these types of motors. There are many power level inverters available on the market with different designs and technological solutions. The common problem with these devices is that the control software can be considered a black box, its operation is not open to the user, the available functionality is limited. In the case of a bench application, it is justified to design a freely parameterizable controller suitable to meet individual needs. This paper presents the hardware development of a low voltage, 20kW inverter suitable for a bench application.

Keywords: electric drives, 3 phase inverter, electric motor test bench

1. Bevezetés

Villamos járműhajtások témakörben az egyik legsarkalatosabb pont a villamos gép meghajtásáért felelős teljesítményelektronika, és az azt szabályozó szoftveres algoritmus. Az egész rendszer csak akkor üzemelhet az elvárásoknak megfelelően (megbízhatóság, hatásfok, dinamika), ha a rendszer elemeinek összehangolása sikeres. A járművekbe épített villamos hajtást természetesen előzetesen sorozatos teszteknek kell alávetni, ahol olyan szélsőséges eseteket is meg kell vizsgálni, amiket a járműbe építve már nem lenne lehetőség, vagy csak jelentős áldozatok árán lenne lehetséges.

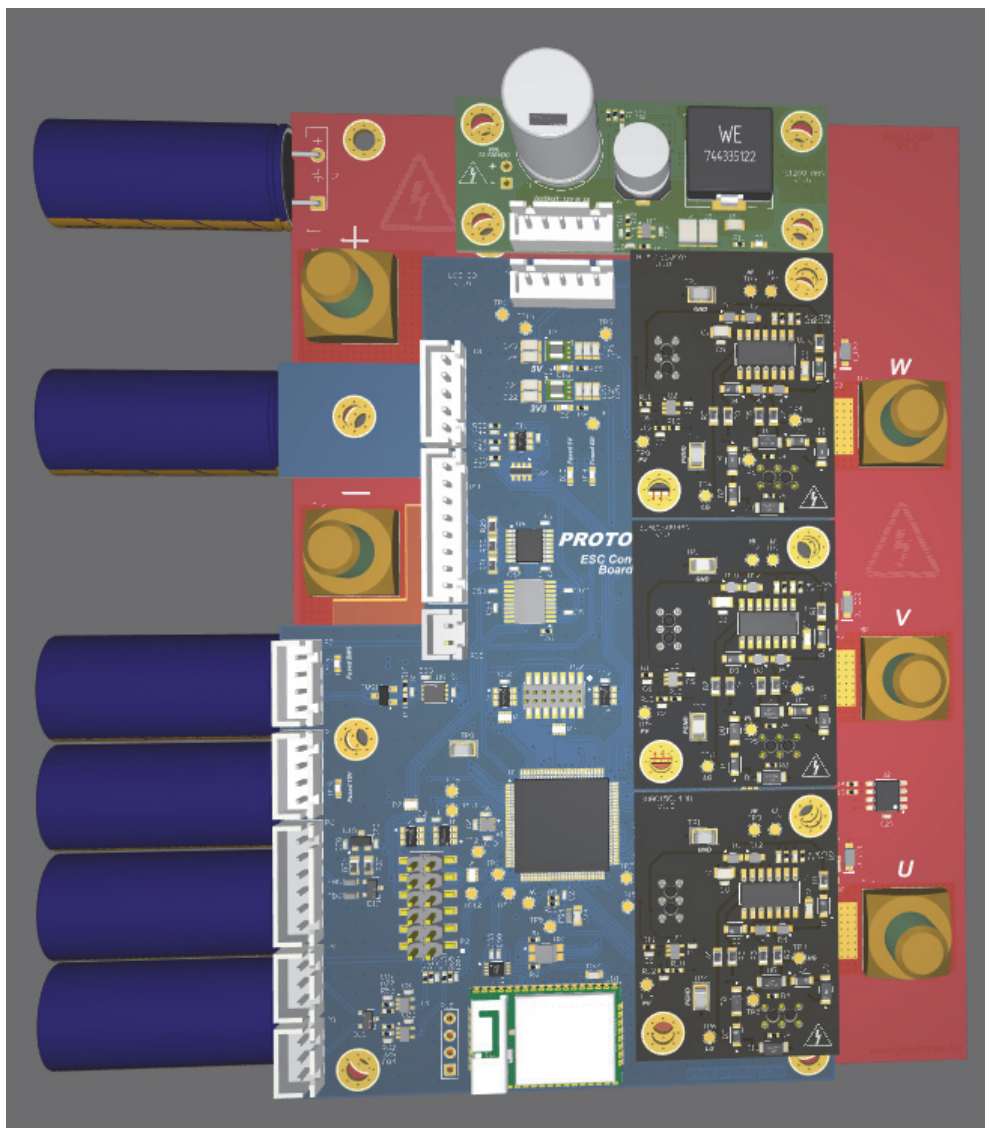
Az ilyen jellegű tesztekhez mindenképp szükség van egy olyan rugalmas rendszerre, amely könnyen módosítható, szoftveres oldalról könnyen módosítható.

2. Konceptió

A motor meghajtó inverter moduláris koncepció szerint került megtervezésre (1.ábra). Ez a tervezési szemlélet egy könnyen átalakítható, költséghatékony megoldást eredményez. Lehetőséget ad az egyes komponensek cserélésére, átalakítására a teljes rendszer újra tervezése nélkül, továbbá a komponens szintű tesztek egyszerű elvégzésére.

A rendszer komponensek a következők:

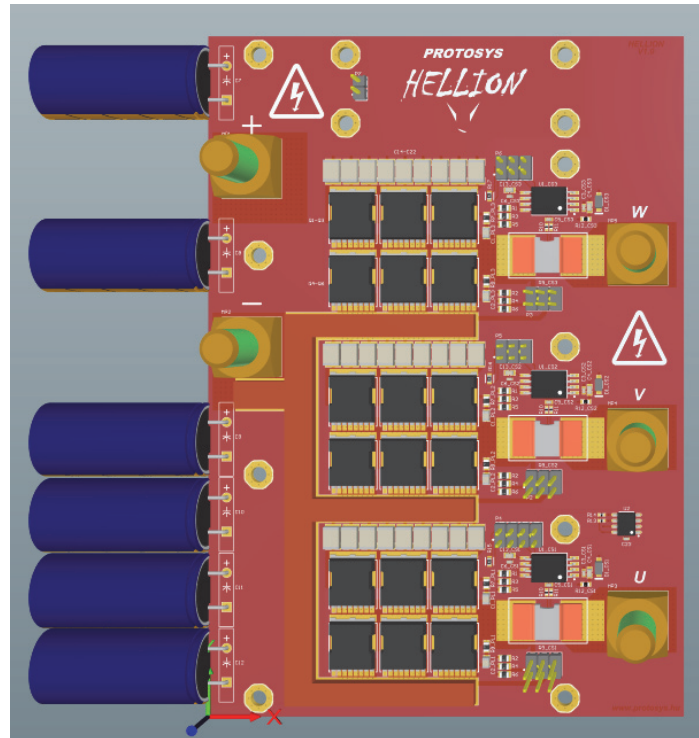
- Teljesítményfokozat:
 - o Teljesítmény félvezetők
 - o Fázisáram mérés
 - o DC kapacitások
- Gate meghajtó áramkörök:
 - o Gate meghajtó
 - o Fázisfeszültség mérés
 - o Aktív félvezető védelmek
- Tápegység:
 - o GaN HEMT alapú DC/DC konverter
 - o DC feszültség mérés
- Vezérlőelektronika:
 - o Logika tápellátás (DC/DC konverterek)
 - o Periféria tápellátás „e-Fuse”-ok segítségével
 - o Motorvezérlő MCU
 - o Pozíció szenzor interfészek:
 - 120° HALL
 - Inkrementális enkóder
 - Rezolver
 - o Analóg és digitális GPIO-k
 - o Kommunikáció:
 - CAN
 - RS-232
 - Bluetooth v4.0
 - Wi-Fi IEEE 802.11 2.4/5GHz



1. ábra Inverter összeállítás

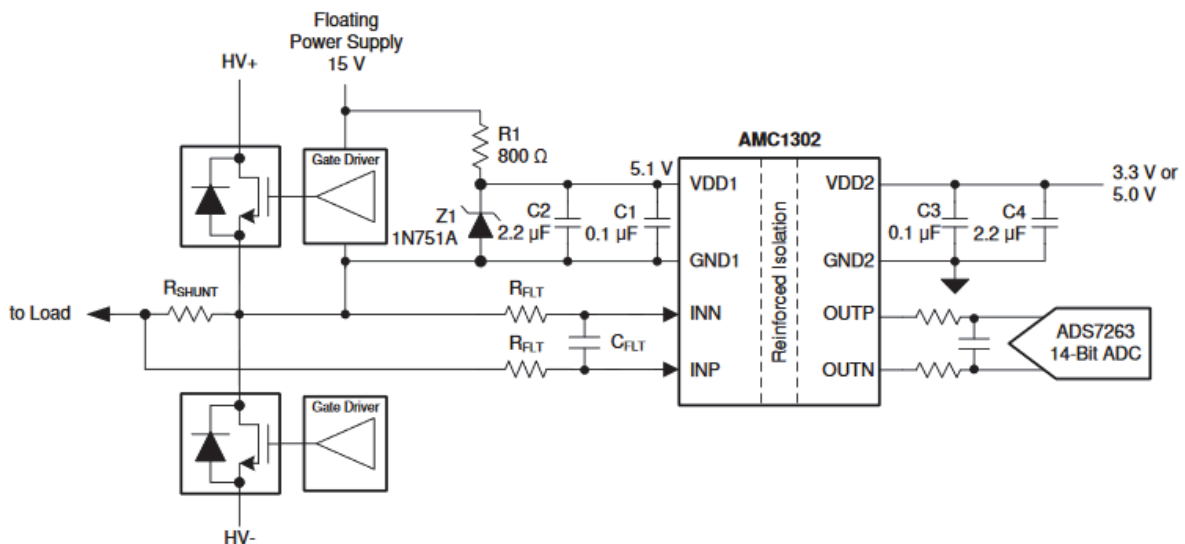
3. Teljesítményfokozat

Az inverter teljesítményfokozatára kerültek beépítésre a teljesítményfélvezetők, a fázisáram mérők és a DC kapacitások (2. ábra), a kétszintű, 3 fázisú híd teljesítményfélvezetői Si MOSFET-ek. A bemeneti feszültségtartományt 20-120VDC szintre korlátoztuk be, amely legalább 150V letörési feszültségű MOSFET alkalmazását igényli. Az alkalmazásban 3-szoros párhuzamosítással IPT059N15N3 típusú MOSFET-eket használunk felületszerelt kivitelben. A tervezett névleges fázisáram 300A. A teljesítményfokozat hűtését passzív hűtőborda biztosítja.



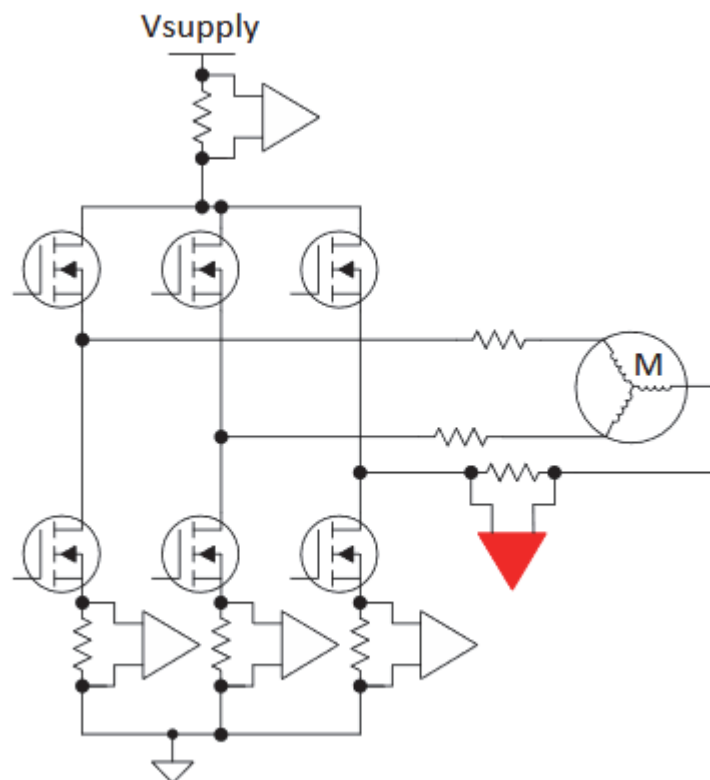
2. ábra Teljesítményfokozat

A fázisáram mérésére AMC1302 típusú izolált műveleti erősítőt használunk. Az árammérés sönt ellenállás alapú és az izolált tápellátást a MOSFET meghajtó felső oldali hídágának bootstrap áramköre biztosítja (3. ábra).



3. ábra AMC1302 fázisáram mérő [1]

A fázisáram mérési metódus a hibadetektálás lehetősége és a direkt fázisáram mérés miatt került kiválasztásra. Az alábbi ábra és táblázat szemlélteti az árammérési típusok tulajdonságait.



4. ábra Árammérési megoldások [2]

Felső oldali megoldás	Alsó oldali megoldás	Direkt fázisáram mérés
Előnyök		
Stabil közös modulusú feszültség	Alacsony közös modulusú feszültség	
Hibadetektálás	Alacsony feszültségű erősítők	Hibadetektálás
	Alacsony költség	
Nincsenek földelési zavarok		Valós fázisáram mérés
Hátrányok		
	Nincs hibadetektálás	Közös modulusú zajelnyomás szükséges
Mért áram $\neq$ fázisáram	Mért áram $\neq$ fázisáram	

5. ábra Különböző áram mérési elvek tulajdonságai

4. MOSFET Gate meghajtó áramkör

A MOSFET-ek feszültség vezérelt teljesítmény félvezetők. Az áramvezetésre alkalmas csatorna szélességét a Gate-Source kapacitás feszültségével lehet befolyásolni, ebből adódóan a vezérlő bemenet kapacitív jellegű. A kapcsolóelem veszteségei a vezetési, a kapcsolási és a vezérlési veszteségekből tevődnek össze. Egy általános célú alkalmazás esetén a vezérlési veszteséget elhanyagolhatónak tekinthetnénk a többi veszteséghez képest.

A vezetési veszteség a teljesítmény kapcsolóelem bekapcsolt állapotában történő veszteséget jelenti, amely függ a rajta átfolyó áramtól, a csatorna ellenállásától, valamint a bekapcsolt állapot időtartamától. A kapcsolási veszteség a kapcsolt feszültség, az átfolyó áram, a fel- és lefutási idők és a kapcsolási frekvencia függvénye, de ide értendő még a dióda vezetésből zárásba történő átmenetének vesztesége is. [7]

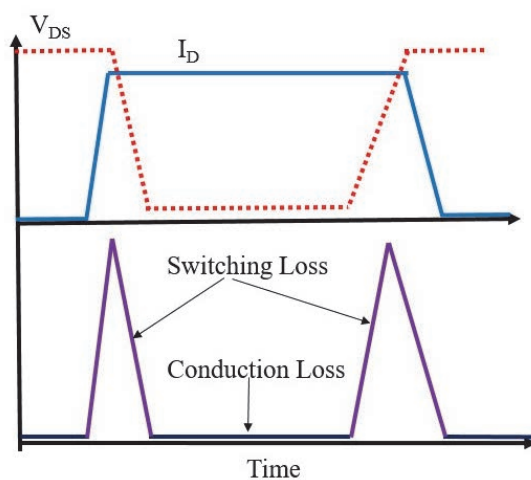
$$P_{COND,MOSFET} = I_D^2 * R_{DS(on)} * t_{ON} \quad [3]$$

$$P_{SW,MOSFET} = 0,5 * V_D * I_D * (t_{SW(on)} + t_{SW(off)}) * f_{SW} \quad [3]$$

$$Q_{rr\ loss} \approx V_D * f_{SW} * Q_{rr} \quad [4]$$

$$P_{MOSFET} = P_{COND,MOSFET} + P_{SW,MOSFET} + Q_{rr\ loss} \quad [3]$$

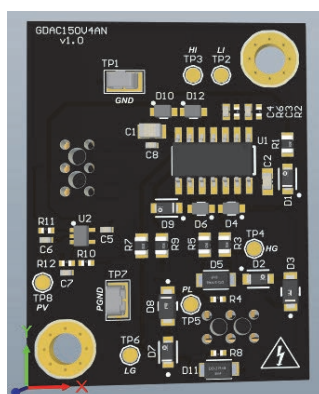
$$P_{Driver} = V_{Driver} * Q_{Gate} * f_{SW} \quad [5]$$



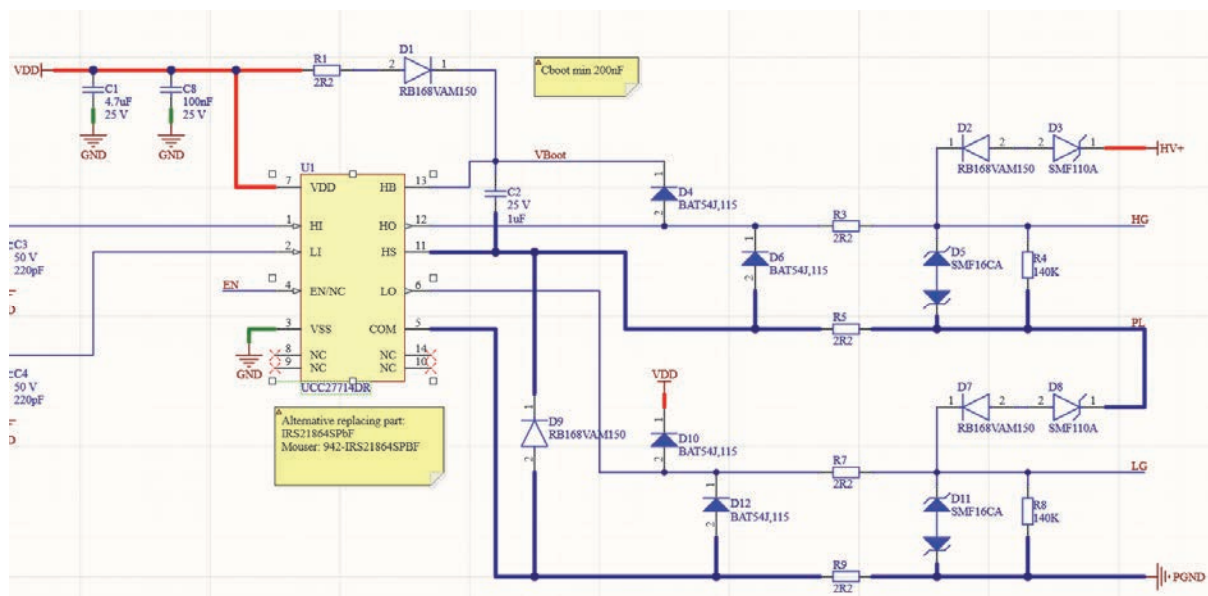
6. ábra MOSFET kapcsolási és vezetési veszteségei indukív terhelés esetén [6]

A MOSFET gyors be- és kikapcsolásának eléréséhez nagy kezdeti áramra van szükség a Gate-Source kapacitás miatt.

A választott Gate meghajtó áramkör az UCC27714, egy 4A áramterhelhetőségű félhidas meghajtó (7. és 8. ábra). Az áramkörön kaptak helyet a Gate körüli ellenállások, valamint a szórt induktivitások által okozott feszültség tüskéket csillapító kollektor körüli aktív védelem.



7. ábra UCC27714 Gate meghajtó panel



8. ábra Gate meghajtó áramkör

5. Vezérlőelektronika

Az inverter vezérlését egy 32-bit architektúrájú, ARM Cortex M4-es processzor végzi (9. ábra). Az alkalmazott vezérlő kifejezetten villamos gépek hajtásszabályozásához lett fejlesztve. Integrálásra kerültek azon hardverelemek a processzoron belülre, amelyek elengedhetetlen elemei egy modern hajtásszabályozó rendszernek.

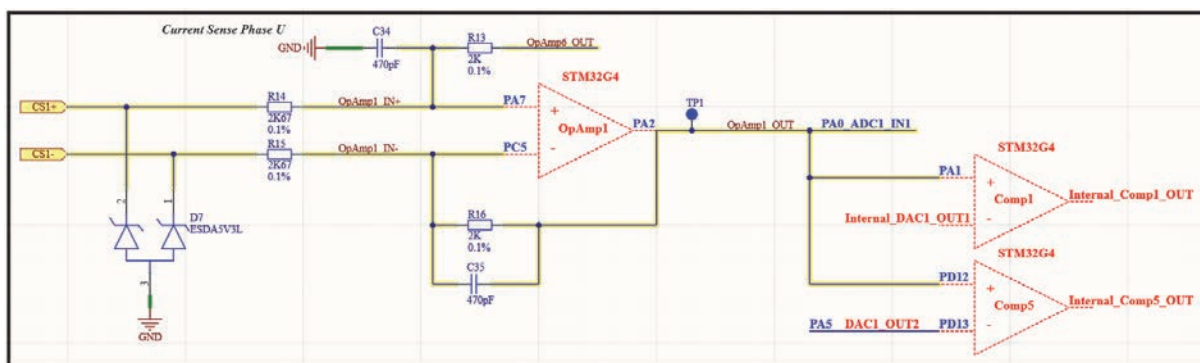
Ilyen egységek a következők:

- dedikált matematikai művelet végző egység
- PWM kimenetek és motor szabályozáshoz tervezett időzítők
- CAN busz kommunikáció
- Bővített analóg funkcionalitás a szenzor jelek feldolgozásához és a hibadetektáláshoz:
 - o 5db független ADC
 - o 7db független DAC
 - o 7db ultra gyors komparátor
 - o 6db műveleti erősítő

Az integrált elemeknek köszönhetően minimális külső elektronikai komponens használatával megvalósíthatók egy modern hajtásszabályozás funkciói. A fázisáram mérését, valamint a túláram védelem működését a 10. ábra szemlélteti.

 STM32G4 MCU Series 32-bit Arm® Cortex®-M4 (DSP + FPU) – 170 MHz  STM32 Solutions										
• ART Accelerator™ • Math Accelerator • Flash memory with ECC • Parity bit on SRAM • Securable Memory Area • Quad-SPI • CAN-FD • USB type-C Power Delivery (UCPD) • USB 2.0 full speed data interface (device) • USART, SPI, I2C, SA • Advanced Motor control timers • Multiple DMA and DMAMUX • Integrated regulator PLL and clock circuit • -40 to +85 °C and up to 125°C operating temperature range • Low voltage 1.71 to 3.6 V • Temperature sensor • Vbat mode	Product line	Flash memory (KB)	RAM (KB)	CCM-SRAM (KB)	ADC 12-bit	12-bit DAC	Ultra-Fast Comparators	Op amp (pGA)	FSMC	High-Resolution Timer
	STM32G4x1* Access line	32 to 512	32 to 96**	Up to 16	3	4	3	4		
	STM32G4x3* Performance line	128 to 512	128	Up to 32	5	7	7	6	*	
	STM32G4x4* Hi-resolution line	128 to 512	128	Up to 32	5	7	7	6	*	*
STM32 USB Type-C  STM32 Motor Control  STM32 Safety 										

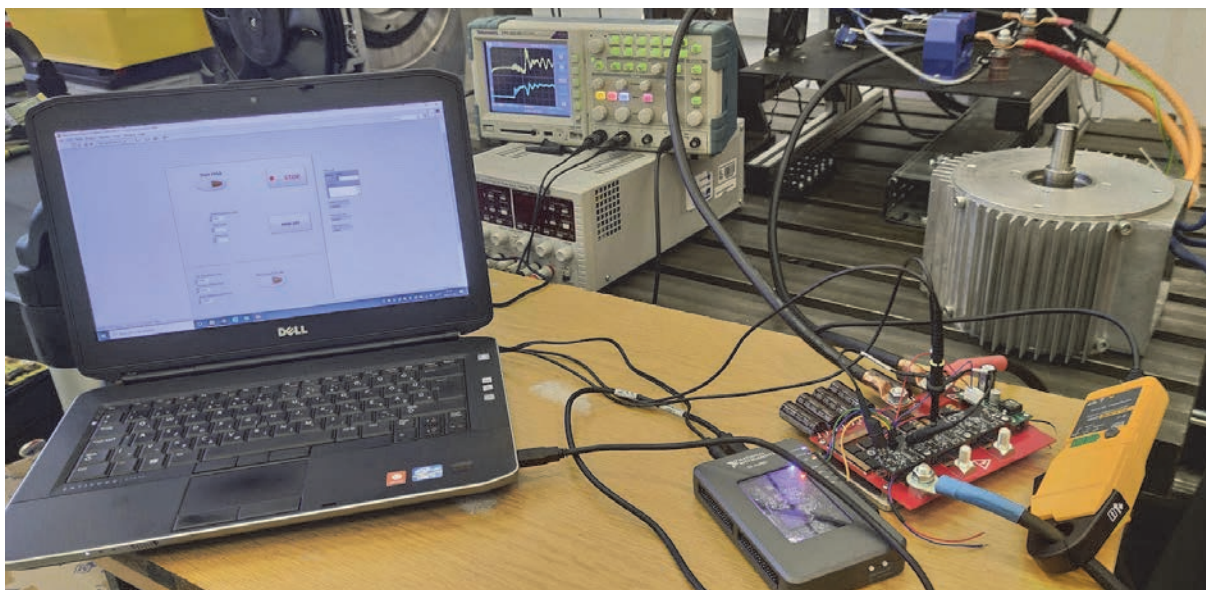
9. ábra STM32G4 MCU tulajdonságai



10. ábra Fázisáram mérés és túláram védelem

6. Összefoglaló

Az elkészített inverteren jelenleg próbabadi méréseket végzünk modell validációs célból. Úgynevezett dupla impulzusos tesztek segítségével validáljuk az elvárt működését a félvezető alsó és felső hídágainak, valamint a híd összenyitás elkerülése érdekében mérjük a kapcsolási tulajdonságokat, nyitási és zárási időket a holtidő pontos beállításához.



11. ábra Dupla impulzusos tesztelés végrehajtása

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Texas Instruments: AMC1302 Precision, Reinforced Isolated Amplifier With High CMTI, Input Voltage Range of ± 50 mV, and High Bandwidth of 280 kHz, *Datasheet, SBAS812C*, 2018
- [2] Texas Instruments: Current Sensing for Inline Motor-Control Applications, *Application Note, SBOA172*, 2016
- [3] Daniel Wagner, Roger M. Kenyon: „Switch-Mode Power Supplies for Beginners: An Efficiency Primer Part 1”, *Power Electronics*, Mar, 2016
- [4] Steve Widener: „GaN to the rescue! Part 1: Body-diode reverse recovery”, *Technical Articles*, Texas Instruments, Oct, 2015
- [5] Laszlo Balogh: „Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits”, *Application Report (SLUA618A)*, Texas Instruments, Oct, 2018
- [6] Moinul Shahidul Haque, Mostak Mohammad, Jason L. Pries, Seungdeog Choi: „Comparison of 22 kHz and 85 kHz 50 kW Wireless Charging System Using Si and SiC Switches for Electric Vehicle”, *IEEE 6th Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications*, Oct, 2018, DOI: 10.1109/WiPDA.2018.8569097

- [7] Zoltán Szeli, Gábor Szakállas: „Development of 48V DC Motor Drive for Autonomous Servo Steering with new type GaN E-HEMT”, OGÉT 2020: XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia – OGÉT, Online (2020)

COVID-19 and the Passenger Car Industry: Forecasts and Analyses

COVID-19 és a személygépjármű piac: lőrejelzések és elemzések

Balázs Gönczy^a

^aSzéchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont

gonczy.balazs@ga.sze.hu

Absztrakt: A Covid-19 pandémia már megmutatta a hatásait a globális gazdaság GDP-jén. A személygépjárművek piacát sem hagyta érintetlenül. A dolgozat a jelenlegi becsléseit szeretné áttekinteni a pandémia gazdasági hatásainak. Ennek érdekében egy vezető adatszolgáltató, Statista adatbázisát és annak előrejelzéseit vontuk vizsgálatunk alá. Az adatbázis segítségével 150 országra kiterjedő személygépjármű piaci adatok és előrejelzéseik kerültek letöltésre és integráltuk egy iparági jelentésbe. A sikeres piaci adategyesítés után egy elemzést végeztünk el Pivot táblák és diagrammok segítségével. Tehát ez a tanulmány egy átfogó képet biztosít a globális járvány hatásairól a személygépjármű piacát érintően.

Kulcsszavak: személygépjármű piac, covid-19, elemzés

Abstract: The pandemic of Covid-19 has already shown its effects on the global economy's gross domestic products. It also has hit the passenger car industry with a huge effect. The study aims to review the current estimations of the pandemic's economic effects. To do so, the leading data provider Statista's database and its forecasts were used. With the help of this database, 150 countries' market data concerning passenger car sales were downloaded and integrated into the form of an industrial report. After the successful unification of market data, an analysis was provided using Pivot tables and charts. So this investigation provides an overview of the effects of the global epidemic concerning the passenger car industry.

Keywords: passenger car industry, covid-19, analysis

1. Introduction

As 2020 knocked on our doors we had to realize that the globalized blossoming world also had its thorns not just the fancy-looking petals on it. After the Covid-19 pandemic spread across the world a lot of limitations were imposed on the global supply chains as well, just like on any countries' citizens. But as Freddy said: „the show must go on”. We also had to realize that the overreaction of the pandemic has hurt our economy quite badly. According to the data from ourworldindata.org this overreaction cost the countries of the world GDP to fall between -3% and -30% (Our World in Data, 2020). Also, this caused the countries to surge their economies' demand with cheap debts. For example, it has caused the rise of the USA's' 2008 debt level to triple (FRED, 2020).

We would like to present to you a few numbers concerning the passenger car industry's hit of the Covid-19. As we will see this industry had its wounds as well. But here comes the question:

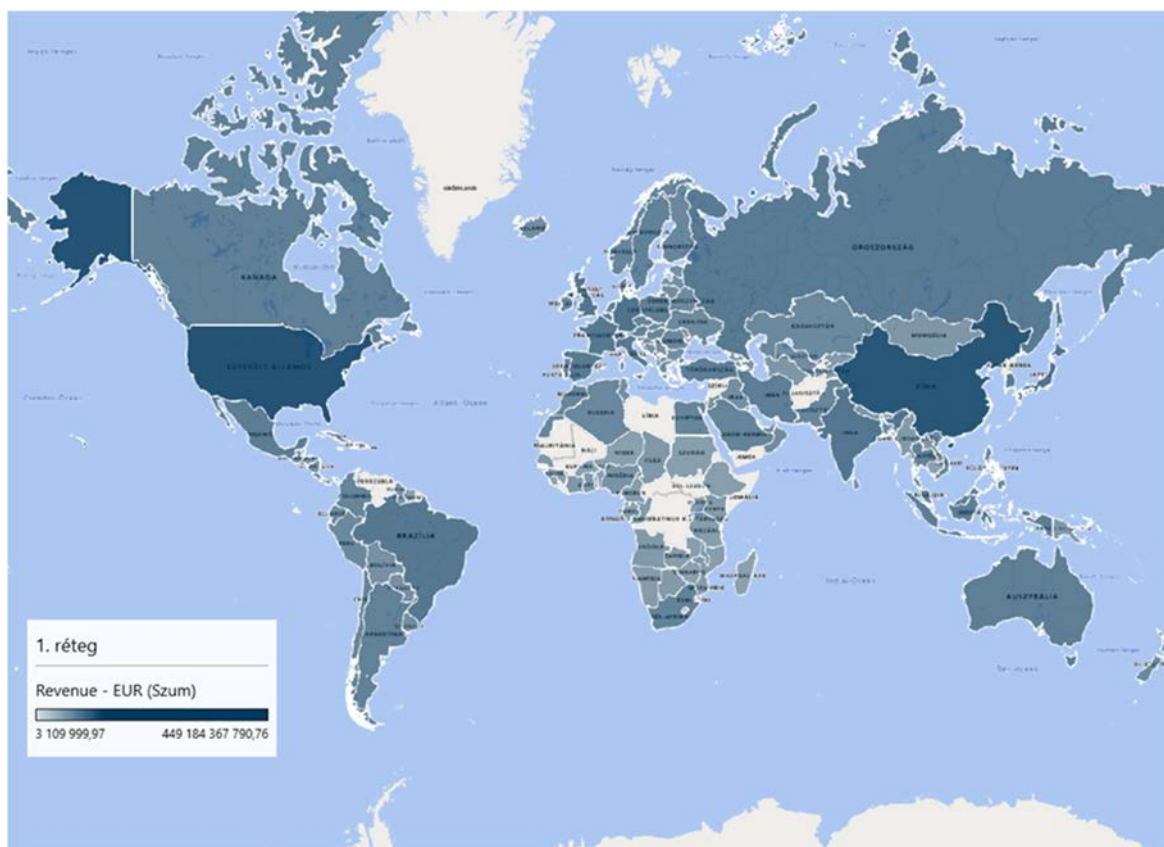
How bad the situation is? Concerning the number, it must be mentioned that we used Statista’s forecast concerning the passenger car industry between 2013–2023. We have built up a database with the help of 150 countries’ reports on the topic. This was an important step to create those visuals that you are going to see (Statista, 2020).

First, the global passenger car industry’s quick review is going to be presented, then the report of the Hungarian market is going to come.

2. The global Passenger car industry

We are going to review the global passenger car industry’s size with the help of revenue-, price, and quantity forecasts. After checking the size of the industry, additional data concerning the effects of Covid-19 are going to be provided.

On the first heat map, we can see the biggest markets of the passenger car industry in 2020 by the size of revenue. As we might see the USA (449 million EUR) leads the list with China (400.6 million EUR) following it. After those huge economies come to Germany (76.5 million EUR), Japan (74.6 million EUR), and India (56.4 million EUR).

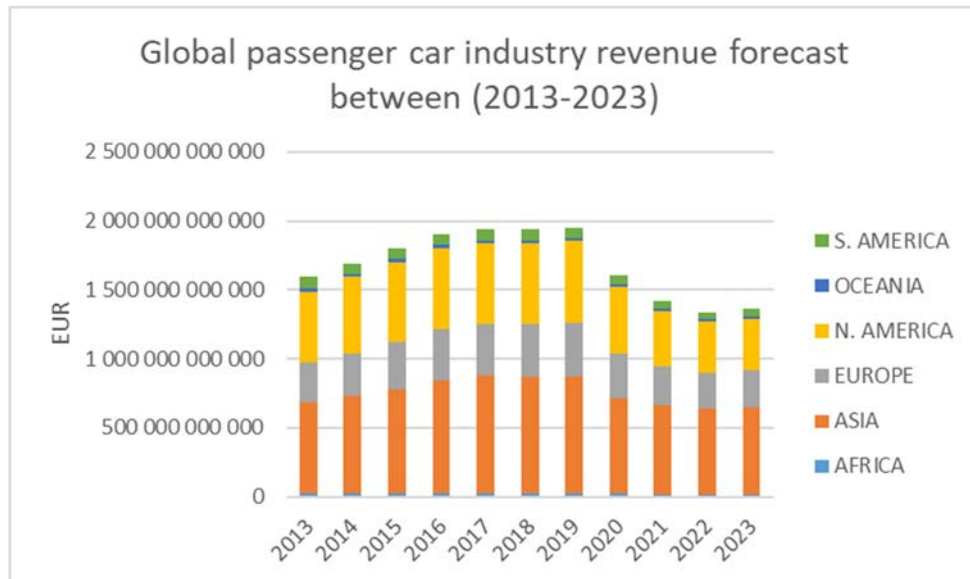


1. figure Global Passenger Car Industry revenue distribution in 2020

If we are interested in the aggregated size of the global passenger car industry than we can find further data on the second chart. In a conclusion after thorough checking of this diagram, we might see a slowing trend between the 2016–2019 years. So as we would anticipate the global passenger car industry had been heading to its fate of slowing down. As a consequence of the pandemic, we can see that the industry won’t recover until the year 2023. If we would like to

measure the difference between the revenue size of 2019 and 2022 when it will supposedly hit the bottom then we might conclude that the aggregated loss will account for a total amount of -35%. This means that the industry's size will shrink by one-third of it.

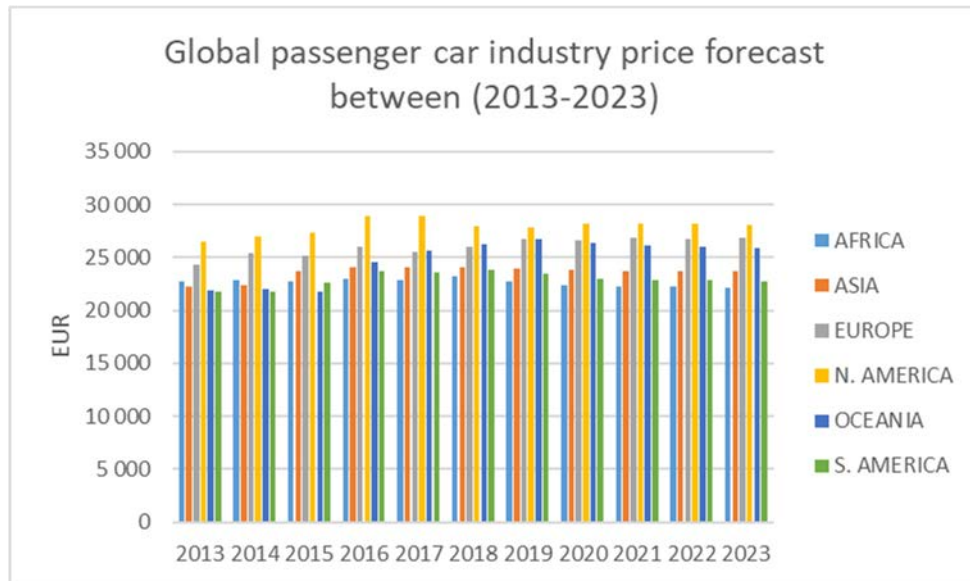
We could also notice with the help of the coloring that the biggest markets by continents are Asia and North America. Especially the biggest market are the USA (449 million EUR revenue, 14.5 million sold car) and China (400.5 million EUR revenue, 19.6 million sold cars) (both in revenue and quantity).



2. figure Global passenger car industry revenue forecast between (2013-2023)

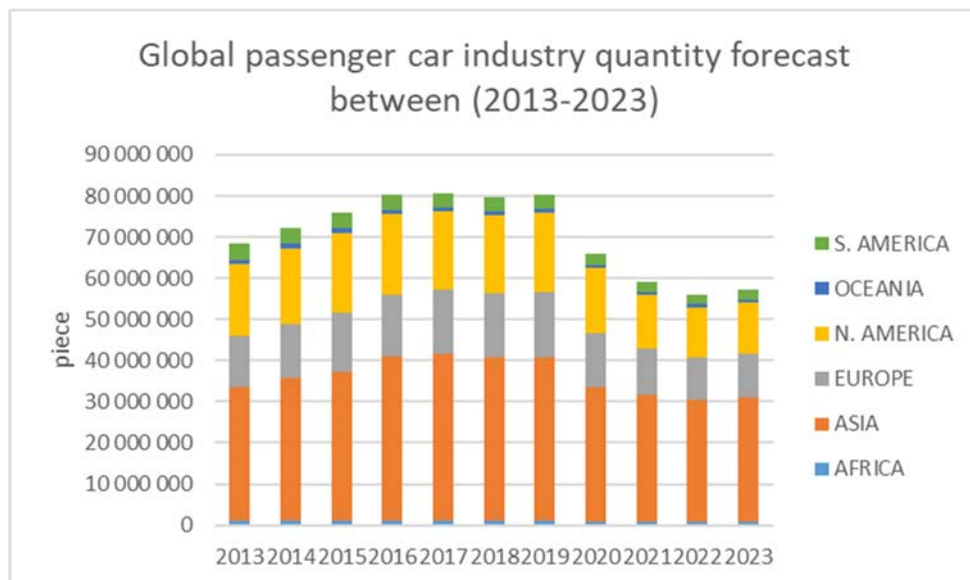
After these not so shocking facts we should dig down deeper and check the average prices and sales volume of the industry.

In the third diagram, we can see that the average price per continents is stagnating during the forecast period. They are moving between 20- and 30 thousand EUR per fictive passenger car. It just won't surprise us that the most expensive passenger cars on average are sold in the USA, Europe, and Oceania.



3. figure Global passenger car industry price forecast between (2013-2023)

Last but not least let us show the volume graph of the industry between 2013-2023. As we can see in the fourth graph the same fall could be seen in the data. So we might conclude that the drop in the supply that might have caused this shrinking of the industry. If it was a decrease in the demand then we could see the prices of the cars shrinking as well. Just like we saw on the third graph the stagnating prices might have been caused by the aforementioned two forces, like slower decreasing demand and the lack of supply during the quarantine days. If we consider the huge monetary support that the companies and the citizens all around the world received, it might be a reasonable phenomenon (International Monetary Fund, 2020).



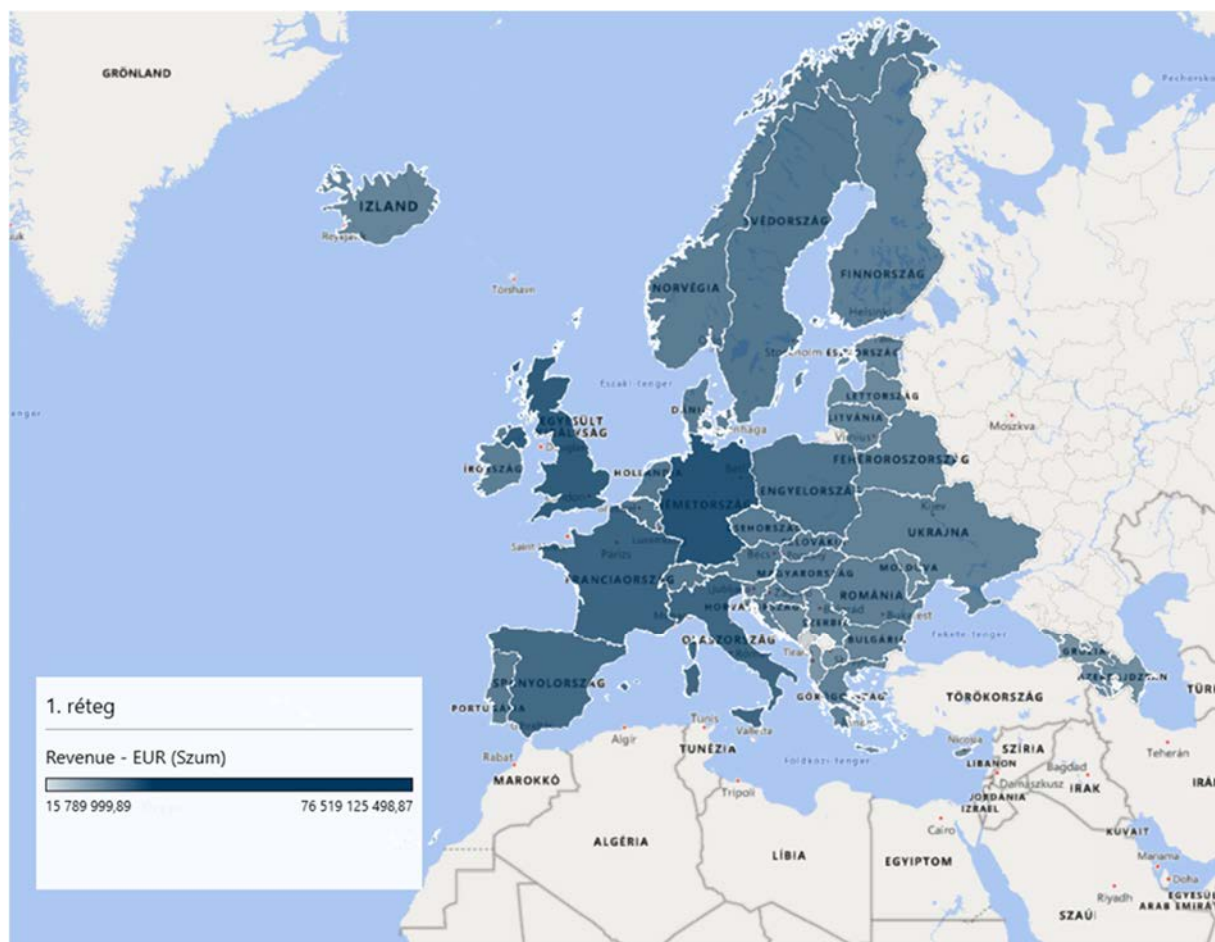
4. figure Global passenger car industry quantity forecast between (2013-2023)

After the analysis of the visualized data, we would like to show the drop in the industry's revenue and volume as well once more between 2020-2022. In the case of the revenue it will decrease by -18% (2020), -11% (2021), -6% (2023) by the three years. In the case of the volume, it will be a decrease of -18% (2020), -10% (2021), -5% (2023). So as we can see a huge drop in both revenue and volume can be expected.

In summary, we can see that the revenue of the passenger car industry will drop by a third until the year 2023, due to the effects of the closure of the OEM plants during the quarantine days. As we could see in the case of the prices the demand hasn't given up on the industry.

3. Hungarian Passenger car industry report

Before going to the country itself we should mention its relative position among the European countries. As can be seen in the fifth graph Germany (75.5 million EUR, 2.7 million sold cars) and the UK (56.4 million EUR, 1.95 million sold cars) is the first and the second biggest passenger car markets (both in revenue and quantity). Hungary is only the 17th biggest market in Europe according to its revenue data.



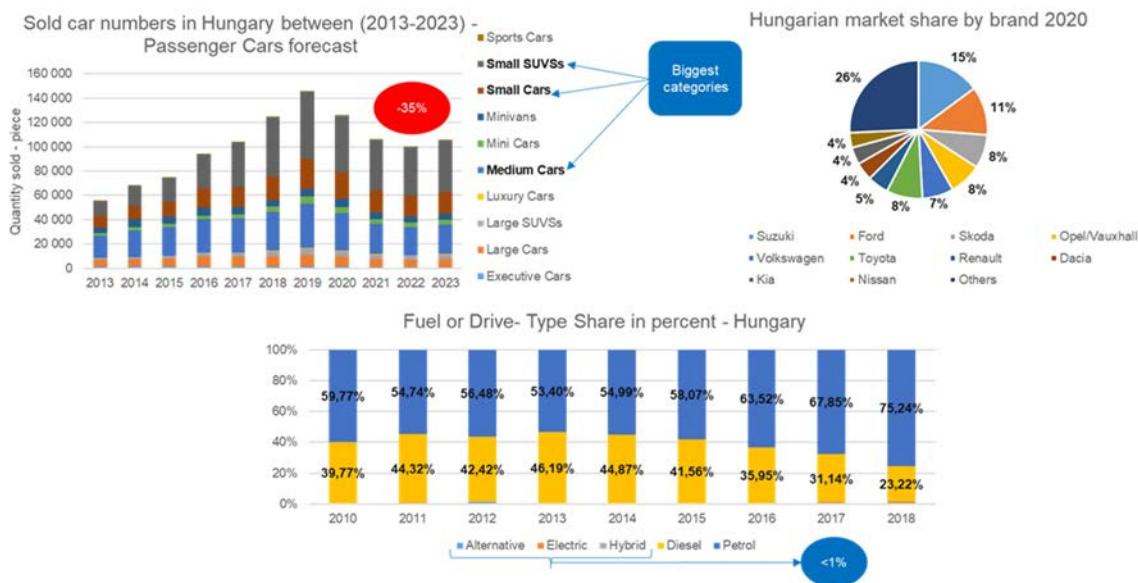
5. figure European Passenger Car industry revenue heat map - 2020

We could see that the global passenger car industry is going to experience a fall during the forthcoming years. In the case of Hungary, it might also be a -35% fall. This fall can be due to the closing of the manufacturing sites of the passenger car industry.

On the sixth graph, there is another worth to mention information as well concerning the Hungarian market. Hungarians prefer Small SUVs, Small Cars, and Medium Cars categories of passenger cars. Also, these cars are usually from brands in 2020 like: Suzuki, Ford, Skoda, Opel/Vauxhall, Toyota, Volkswagen. The first brands are not surprising which are famous for

their affordable cars. Also if we put together the two pieces of information then we can see that those passenger cars and brands are the most attractive that are small and affordable.

If we are interested in the drivetrain types that dominate the Hungarian market then we should check the last column diagram on the sixth graph. Two categories: petrol and diesel dominated the market in 2018. The alternative drive trains only reached less than 1% altogether. As we can see the data is at least 2 years old, but if we consider the EU-s total alternative drivetrain percentage in the same year then we can say that it was about 6% that increased to 8% the next year. So this percentage is probably higher then it was in 2018 (JATO, 2020).



6. figure Hungarian Passenger car industry report

In summary, we could see that the Hungarian market, despite its size, it was also hit by the pandemic badly as well. We could also see the top passenger car categories and brands which are the most famous in Hungary.

Summary and conclusions

The pandemic's economic effects are going to be severe in the passenger car industry. It might drop back to two-thirds of its current size. Mostly this effect can be explained by the halt in its supply chain due to the restrictions caused by COVID-19.

If we would like to highlight the biggest markets in the world then we can say that they are the USA and China. As we could see the top markets were Germany and the UK. Also, it was discovered that Hungary is only the seventeenth in Europe according to its revenue data.

We also examined the main trends in the Hungarian market. So we could see that the global trends also had its effects on our passenger cars industry. The top brands (Suzuki, Ford, Skoda, Opel/Vauxhall, Toyota, Volkswagen) and drivetrains (petrol and diesel) were also identified in this report.

Finally, we can say that the report could provide a basic overview of the effects of COVID-19.

Acknowledgement

The research presented in this paper was carried out as part of the “Dynamics and Control of Autonomous Vehicles meeting the Synergy Demands of Automated Transport Systems (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

Irodalomjegyzék

- [1] FRED: Federal Debt: Total Public Debt, (2020), Source: <https://fred.stlouisfed.org/series/GFDEBTN>, Downloaded: 2020.09.18.
- [2] International Monetary Fund: Policy Responses to Covid-19, (2020), Source: <https://www.imf.org/en/Topics/imf-and-covid19/Policy-Responses-to-COVID-19>, Downloaded: 2020.09.19.
- [3] JATO: EUROPE OUTPERFORMS GLOBAL MARKET IN 2019 -POSTING THE HIGHEST REGISTRATIONS OF THE LAST TWELVE YEARS, (2020), Source: <https://www.jato.com/wp-content/uploads/2020/02/FY-2019-Europe-Reg-Release-Final.pdf>, Downloaded: 2020.11.02.
- [4] Our World in Data: Which countries have protected both health and the economy in the pandemic?, (2020), Source: <https://ourworldindata.org/covid-health-economy>, Downloaded: 2020.09.18.
- [5] Statista: Passenger Cars, (2020), Source: <https://www.statista.com/outlook/1000000/100/passenger-cars/worldwide>, Downloaded: 2020.09.15.

XBRL Reporting Application and Status

XBRL elektronikus vállalati reporting alkalmazása

Alex SUTA^a, Árpád TÓTH^b

^a Doctoral School of Regional- and Business Administration Sciences, Szechenyi Istvan University, Hungary

suta.alex@ga.sze.hu

^b Research Center of Vehicle Industry, Szechenyi Istvan University, Hungary

totha@ga.sze.hu

Abstract: This paper serves as the summary of recent progressions of the research topic in the first place addressed by our research team over one year ago, based on XBRL, a standardized electronic format in which companies can present their financial statements and much more information. Since then, we have carried out several other pieces of research, but the former XBRL topic has made a steady progression considering its applicability and regulation. This paper aims to give a status report on the current environment of XBRL, what is changing right now in the business uses, and by the European Union's regulators. Although the recent pandemic is expected to delay the full implementation of this format, the variety of XBRL applications has seen a strong increase because of new data analysis tools. We also present our research status in the form of two recent publications on this topic.

Keywords: XBRL, ESEF, electronic reporting, sustainability reporting, automotive industry

Absztrakt: A konferenciaközlemény célja a kutatócsoportunk számára nagyjából másfél éve kiemelten kezelt téma az eXtensible Business Reporting Language (XBRL). Az XBRL az elektronikus vállalati reporting területen a vezető formátum, amelyben a vállalatok standardizált módon bemutathatják pénzügyi beszámolóikat más, kiegészítő információkkal egyetemben. Az XBRL alkalmazhatóságát és EU-s szabályozását tekintve stabil növekedést mutatott az elmúlt években. A közleményben állapotjelentést adtunk az XBRL jelenlegi környezetéről az üzleti, szabályozói felhasználását tekintve. Bár a 2019/20-as világjárvány várhatóan késlelteti a formátum ezévre tervezett bevezetését, a technológiájában fejlődést mutató adatelemző eszközök miatt az XBRL alkalmazások változatossága megnőtt. Végül a felhasználási lehetőségeket a kutatással összefüggő két közelmúltban megjelent publikáció bemutatásával prezentáltuk.

Kulcsszavak: XBRL, ESEF, elektronikus beszámolás, fenntarthatósági jelentés, járműipar

1. Introduction

The content of electronic reports do not differ from traditional ones, but the reporting environment changes: in the form of the (1) overall volume of qualitative data published, and as well (2) analytical methods handling this qualitative data. Annual reports in all cases contain a combination of graphics, photos, and a positive narrative on the company's activities over the business year. At the same time, more parts of reporting provide supplementary information to financial statements. Some of these are

management commentary, corporate responsibility, and sustainability, or the corporate communications report (Prodanova, 2020).

For example, society's awareness has been increasing about environmental and social issues. This transforms the way businesses are conducted, and also the information that is communicated between organizations and their stakeholders in the form of Sustainability reports or Corporate responsibility reports. Companies provide accountability to their stakeholders and try to assure that their operations are focused on environmental and social performance. As seen in the following figure, companies in the automotive industry are among the top information providers in that field.

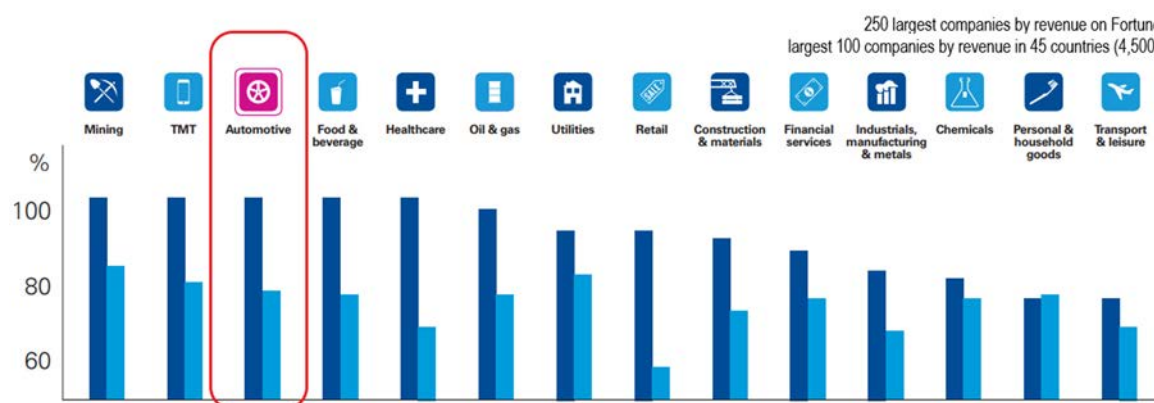


Figure 1. Corporate responsibility by sector (KPMG, 2015)

2. Current status of the eXtensible Business Reporting Language (XBRL)

It is important to highlight that corporate reporting is greatly affected by technological change since it is a data processing procedure, a form of supplementing, and automating human interpretation. We can say that each stakeholder is affected by the fact that previously hectic and unstructured data becomes machine-readable (Radzinski et al., 2014).

This is a technology-reliant process, adaptation for bureaucratic organizations such as governments faces implementational difficulties. At the same time, XBRL gained traction with regulators because the format supports the analysis and dissemination of large amounts of information. In business uses, it is widely accepted as a reporting alternative (Wenger-Elam-Williams 2013). In the U.S. it is also obligatory for public listed companies (XBRL International, 2020). In the service sector, XBRL content analysis is used by audit and consulting firms, but these methods remain hidden business practices. On the supplier side, there is a wide range of software vendors offering solutions for qualitative analysis. These are also commonly used by academics in data-heavy researches. Generally speaking nowadays there is much bigger ground for exploratory data analysis for this cause. After successful first-time adoption of electronic financial reporting, it can make internal processes more transparent as well.

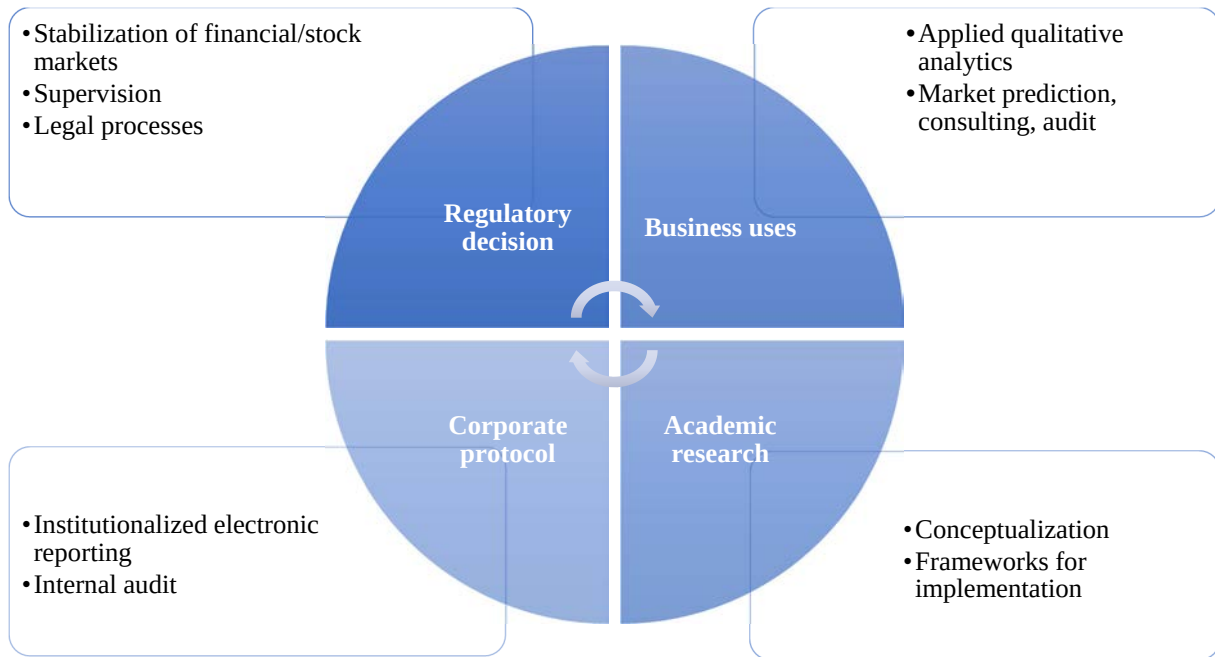


Figure 2. Application of XBRL by different stakeholders (own editing)

In the above figure, use-cases are presented demonstrating how the format affects different sectors. Implementation can reduce financial data collection time, data processing time, and data analysis in both the business and academic sectors. In the past years, the European Securities and Markets Authority which supervises European stock markets has advocated the implementation of the European Single Electronic Format (ESEF) – which is an inline XBRL format of financial statements. There was a successful pilot project carried out in 2017 with 25 participants (*ESMA, 2020*), and the financial statements published next year will arrive in this standardized format as an obligation for European listed companies.

3. Standardization of global reporting, and developments in the EU

Within this research topic, there are two relevant areas connected to EU implementation, the first being a common format of electronic reporting, and the second being the standardization of the content of reports – both sustainability and financial.

The previously mentioned ESEF in the first period only contains financial statements, but in the following years, the format will expand on the notes to financial statements and possibly non-financial information as well. Currently, there are ongoing consultations on the details of this introduction, such as a common platform to present information for all companies.

Regarding sustainability: cooperations between the biggest standard-setting organizations, namely GRI, SASB, and the IFRS Foundation was seen in 2020. This is good news for quality information, as GRI is known as the provider of the most widely-used framework, while SASB focuses on the identification of material sustainability factors that have an impact on financial performance (*CO2Logic, 2017*). Besides, IFRS Foundation, which designs the International Financial Accounting Standards (IFRS) calls for standardization and comparability of reporting. These institutions say that sustainability and climate change issues are becoming increasingly important to capital markets (*IFRS Foundation, 2020*).

4. Summary of publications in the research topic

Suta, A., & Tóth, Á. (2020). *XBRL utilization as an automated industry analysis. Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 48(1), 131-138.

In the first article presented, our research question was whether automated industry analysis could be carried out from this new data source for automotive companies. As U.S. publicly listed companies are obliged to present their financial statements in electronic XBRL format, we could review the whole population of automotive companies. We selected the 2018 quarterly reports and compared 2 data sources (the XBRL format and the paper-based format), and statistically tested if there were any discrepancies between them.

Table 1. Industrial specification of data sources (Suta & Tóth, 2020:1)

SEC's EDGAR Online Pro			SEC's EDGAR XBRL data set	
Industrial specification		Number of companies	Industry (SIC)	Number of companies
OEMs Suppliers from Tiers 1 & 2	{ Auto & Truck Manufacturers	26	3711. Motor Vehicles & Passenger Car Bodies	20
	{ Automobiles, Parts & Service Retailers	24	3713. Truck & Bus Bodies	2
	{ Auto, Truck & Motorcycle Parts	53	3714. Motor Vehicle Parts & Accessories	41
			3715. Truck Trailers	1
			3716. Motor Homes	2
			3751. Motorcycles, Bicycles, and Parts	8
Total		103	Total	74
Entire population size		5,736	Entire population size	7,133

As seen in table 1, we used a multi-tier supply chain approach to group the companies, and in table 2 that we reviewed four main financial items (Total assets, Equity, Net sales revenues, and Profit after taxes).

Table 2. Deviation matrix between data sources, % (Suta & Tóth, 2020:1)

Statistic	Category	Total assets value	Total equity attributable to company owners	Net sales revenues	Profit after taxes
Totals	OEM	10.39%	30.50%	6.65%	31.84%
	T1&2 S.	38.38%	40.48%	56.71%	37.33%
Mean	OEM	32.02%	47.28%	29.18%	48.29%
	T1&2 S.	2.76%	1.29%	10.12%	3.50%
St.dev	OEM	13.42%	37.74%	13.18%	37.65%
	T1&2 S.	10.83%	9.11%	5.02%	8.93%

The study generated an automated industry analysis for the automotive industry from these four aspects. Chi-square tests were carried out between two data sources (the paper-based and the electronic formats). They appeared to also have different industry classification methodologies.

The results showed a significant difference between the two methodologies. From the XBRL data source, automated industry analysis technically is possible, but the SIC code data fields (which provide the industry classification in the data set) were in many cases inaccurate, which is a potential area of improvement.

Suta, A. & Tóth, Á. (2020). *Automated review on sustainability elements of the electronic financial reports in the automotive industry. The 4th Sustainable Process Integration Laboratory Scientific Conference, Brno*

In the second publication, we applied software with a Natural Language Processing algorithm to analyze the content of Sustainability reports of BMW, Daimler, and VW groups. We also applied a concept of 5 stages of sustainability (Landrum & Ohsowski, 2018), that defined specific keywords to each stage; the higher the stage, the more „realistic” the sustainability activity of the company is. In figure 3, it can be seen that stages showed different results between the analyzed three companies, with also significant independence.

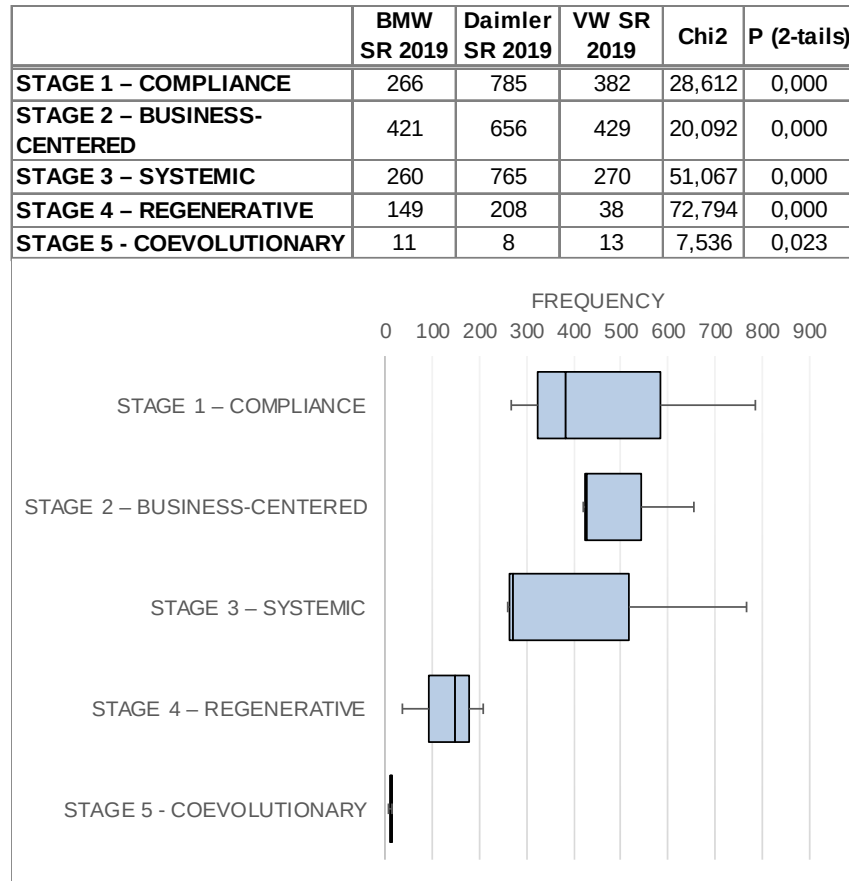


Figure 3. Corporate stages of sustainability elements (Suta & Tóth, 2020:2)

Keywords from the first three stages were the most frequently used, keywords from stage 5 were hardly even mentioned. At the same time, the analyzed automotive companies addressed relatively similar frequencies on the first three stages. This predicts a positive trend where companies not only focus on compliance with regulations and achieving internal benefits, but work with other stakeholders on sustainability activities, to address environmental, economic, and social change on a systemic level.

Acknowledgement

The research presented in this paper was carried out as part of the “Dynamics and Control of Autonomous Vehicles meeting the Synergy Demands of Automated Transport Systems (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

References

- CO2logic (2017). GRI and SASB are Designed to Fulfill Different Purposes for Different Audiences. Link: <https://www.co2logic.com/en-US/news/gri-and-sasb-are-designed-fulfill-different-purposes-different-audiences>
- ESMA (2020). FIELD TEST ON ESEF. Link: <https://www.esma.europa.eu/field-test-esef>
- IFRS Foundation (2020). Consultation Paper on Sustainability Reporting. Link: <https://cdn.ifrs.org/-/media/project/sustainability-reporting/consultation-paper-on-sustainability-reporting.pdf?la=en>
- Landrum, N. E., & Ohsowski, B. (2018). Identifying worldviews on corporate sustainability: A content analysis of corporate sustainability reports. *Business Strategy and the Environment*, 27(1), 128-151.
- Prodanova, N. A., Savina, N. V., Dikikh, V. A., Enina, Y. I., Voronkova, O. Y., & Nosov, V. V. (2020). Features of the coherent presentation of information in order to prepare integrated corporate reporting. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(3), 2227-2281.
- Radzimski, M., Sanchez-Cervantes, J. L., Garcia-Crespo, A., & Temiño-Aguirre, I. (2014). Intelligent architecture for comparative analysis of public companies using semantics and XBRL data. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 24(05), 801-823.
- Suta, A. & Tóth, Á. (2020):2. Automated review on sustainability elements of the electronic financial reports in the automotive industry. The 4th Sustainable Process Integration Laboratory Scientific Conference, Brno
- Suta, A., & Tóth, Á. (2020):1. XBRL utilization as an automated industry analysis. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 48(1), 131-138.
- Wenger, M. R., R. Elam, and K. L. Williams (2013). A tour of five XBRL tools: Products that help make tagged data work for you and your clients. *Journal of Accountancy*. 215(4):48-55.
- XBRL International (2020). XBRL for Securities Filing. Link: <https://www.xbrl.org/the-standard/why/xbrl-for-securities-filing/>

SUSTAINABILITY AND THE INTERNATIONAL FINANCIAL REPORTING STANDARDS THE MISSING LINK

Árpád TÓTH^a, Ferenc SZAUTER^b

^a Research Center of Vehicle Industry, Szechenyi Istvan University, Hungary
totha@ga.sze.hu

^b Research Center of Vehicle Industry, Szechenyi Istvan University, Hungary
szauter@ga.sze.hu

Abstract: This study reviews the importance of the connection between sustainability reports and financial statements. There are several ongoing standard settings, including the International Accounting Standard Board (IASB), concerning disclosure of the entities' performance, which should be also transparently linked to sustainability. Automotive companies describe themselves as the lead sustainable entities, but is it possible to reconcile those statements to their financial reporting and their assets and liabilities? We also tried to address whether car manufacturing companies are targeting to disclose the most harmful pollution impacts or are they only focus to disclose the obligatory items. The reviewed companies' sustainability reports are based on the Global Reporting Initiatives (GRI) reporting requirements, while the financial statements are either based on IFRS. The reviewed and investigated sustainability reports contained insufficient information to be traced back to financial statements. Additionally, to the sustainability disclosure issues related to carbon dioxide, potentially significant environmental liabilities (provision) should be recognized and validated back to the financial disclosures.

Keywords: Sustainability reporting, Global reporting initiative, Financial reporting, IFRS, carbon emission

1. Introduction

The connection and the potential reconciliation between sustainability and financial reporting are getting more and more attention. A quite heavy debate started in April 2019 based on a speech from the International Accounting Standard Board (IASB) chairman Mr. Hoogervorst and the most widely used Global Reporting Initiative chief executive Mr. Mohin regarding the role of sustainability and financial reporting.

International Financial Reporting Standards (IFRS) are applied in 144 different jurisdictions across the globe, and they represent a well-known global accounting standard, based on relevant and reliable information provided to investors. In comparison, sustainability reporting belongs to a so-called: Environmental, Social, and Governance (ESG) reporting. This new reporting is driven by investors' expectations related to corporate performance. Sustainability reporting is a good representation of the change, where currently no global standard is agreed yet; as a result, it is not possible to give a universally accepted definition on this reporting. It is better to define the purposes of such reports, which

is to inform readers about the material, resource, and service flow between entities, markets, or within the society. It assumes that the economy and the environment affect the ability of corporate, economic, social, and environmental systems to operate in the long term.



Figure 1: Sustainable development goals

Source: UN <https://sdgs.un.org/>

This study is analysing a specific market on European-based car manufacturing companies, to map and trace back sustainability report information to their respective financial statements, where sustainability plays a vital role in the industry operation because investors are making primary decisions based on how those companies are operated according to sustainability standards. Using Guthrie L. (2016) mapping system, the reporting requirements and reporting contents are analysed for this industry.

From the global sustainability standards, Global Reporting Initiative (GRI) is applied at all of the reviewed car manufacturing companies, which demonstrated the significance of these standards.

2. Literature review

There are several studies in different fields as the mapping of the corporate and sustainability reporting Kannenberg & Schreck (2019), or Guthrie L. (2016). Others review the entities' sustainable operations as Geissinger A., Laurell C., Öberg C., Sandstörn C. (2018), who questioned how sustainable a particular market is.

Hoogervorst (2019): CSR like sustainability reporting does not meet the objectives of financial reporting. Need for a change. „Sustainability issues can already have an impact that needs to be reflected in financial reporting.” Mohin (2019): „Mr. Hoogervorst’s arguments misrepresent the role of standard-setters such as GRI, and indeed his organization, the IASB. Standard- setters — GRI, IASB, or others — cannot be responsible for the disclosures made by companies. Our role is to establish the best practice for such disclosure”. Kannenberg – Schreck (2019): Empirical research on sustainability reporting, disclosure, and corporate decisions. Some positive implications, but overall inconclusive results.

3. Methodology

To avoid a narrow one-sided review, the reviewed studies in this paper included the incorporation of statistical databases and global surveys. It compared the sustainability and financial reporting standard requirements and selected Automotive as a specific industry to spot-check the global survey results.

As a next step it sorted out and validated from financial reports the top10 car manufacturers: Sort them according to the registered continent (identify and select EU Car manufacturers). After the sorting, I have reformed the review for these selected companies by reviewing the identified companies' financial and sustainability reports. The goal was to identify any dominant reporting standard, map and reconcile financial and sustainability reports and search for missing items in both reports.

Based on the mapping review a clear connection exists between sustainability and financial reporting standards. More specifically this connection can be identified between GRI and IFRS disclosure requirements, which are the key global standards.

4. Standardization of financial and sustainability reporting

Within this research topic, there are two relevant areas connected to EU implementation, the first being a common format of electronic reporting, and the second being the standardization of the content of reports – both sustainability and financial. Regarding sustainability: cooperations between the biggest standard-setting organizations, namely GRI, SASB, and the IFRS Foundation was seen in 2020. This is good news for quality information, as GRI is known as the provider of the most widely-used framework, while SASB focuses on the identification of material sustainability factors that have an impact on financial performance (CO2Logic, 2017). Besides, IFRS Foundation, which designs the International Financial Accounting Standards (IFRS) calls for standardization and comparability of reporting. These institutions say that sustainability and climate change issues are becoming increasingly important to capital markets (IFRS Foundation, 2020).

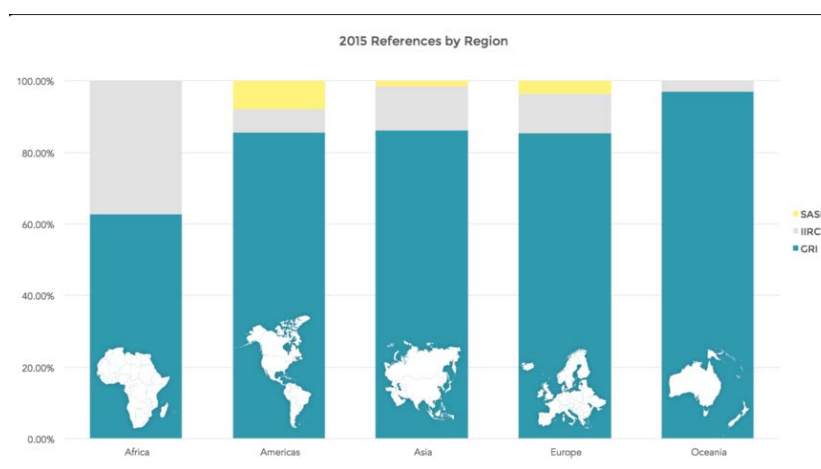


Figure 3. Global coverage of the sustainability standards

Source: Damataran – database www.erevalue.com

From the TOP200 Automotive companies (based on aggregated revenue) TOP10 was selected, where three automotive groups are registered and located from financial reporting perspectives in the EU. All of these 3 key companies applied the same financial and sustainability reporting standards.

Rank	Company Name	Exchange	Listing ID	Location Country	Financial reporting	Sustainability Reporting Standard
1	Volkswagen AG	Frankfurt	VOW	Germany	IFRS	GRI
2	Toyota Motor Corp.	Tokyo	7203	Japan	Japanese GAAP	GRI
3	Daimler AG	Frankfurt	DAI	Germany	IFRS	GRI
4	Ford Motor Co Corp.	New York	F	United States	US GAAP	GRI
5	General Motors Co Corp.	New York	GM	United States	US GAAP	GRI
6	SAIC Motor Co Ltd.	Shanghai	600104	China	IFRS	Non-GRI
7	Honda Motor Co Ltd.	Tokyo	7267	Japan	Japanese GAAP	GRI
8	Fiat Chrysler Automobiles N.V.	NYSE	FCAU	US	US GAAP	GRI
9	Bayerische Motoren Werke AG	Frankfurt	BMW	Germany	IFRS	GRI
10	Nissan Motor Co Ltd.	Tokyo	7201	Japan	Japanese GAAP	GRI

Table 1. Top 10 global automotive companies based on annual revenue
Source: Statista report on Top 200 global automotive companies, www.statista.com

5. Results

The key seven connection areas with concrete reconciliation between the global standards are summarized in table 2.

IFRS reference	Topic	Content
Conceptual framework	Materiality	Making materiality judgments to climate-related and other emerging risks
IAS 1	Relevant notes from appendix	Information, which is considered to be relevant if it could reasonably be expected to influence decisions made by investors.
IAS 36	Impairment of assets	Carrying amount of Property, Plant, Equipment: Related to mineral resources, intangible assets, goodwill. Effect of climate-related risks - company's exposure - IAS36 disclosure requirement - key assumptions on cash flow projections. (Discounted - NPV presentation.)

IAS 16 / IAS38	Expenses related to assets	These standards require to recognise expenses related to items (tangible, intangible).
IFRS 13	Fair value measurement	Key assumptions used, incorporating the possible scenarios when the asset is affected by climate-related risks. Including potential changes (laws, regulations) concerning managing risks. Companies to disclose how it factors climate-related risk into the calculations. In sectors particularly affected by climate-related risks may need to consider disclosing their assumptions regarding such risks, even if they cannot quantify any effects on the financial statements.
IFRS9 / IFRS 7	Financial instruments	Forward-looking statements - on expected credit losses (ECL) - mainly financial institutions are required to evaluate - investment in projects. Exposure to climate-related risk affects these loans and investments. (For instance: fossil-fuel-intensive, automotive investments.)
IAS 37	Provisions, contingent liabilities (contingent assets)	Required to provide a brief description on the nature of any contingent liability, estimate the financial effect, and an indication of the uncertainties in relation to the outflow of resources for obligation settlement. Climate-related effects can be categorised in three key sections: <i>a) Recognition of an onerous contract provision. (Climate-related risks)</i> <i>b) Increase of provisions recognised for decommissioning a plant or rehabilitating environmental damage</i> <i>c) disclosure of contingent liability for potential litigation and fines or penalties. (For instance: CO2 emission fine).</i>

Table 2. IFRS’ connection to sustainability reporting

Source: Own editing based on Anderson 2019

www.ifrs.org

There is no clear reported connection between sustainability and their financial reporting, and it was not possible to reconcile the sustainability reports to the financial statements, despite the representation of the word CO2 several, as quantified, 54 (VW), 169 (BMW), and 297 (Daimler) times. The CO2 emission regulation within the EU provided a solid reference point, where we could validate, whether the reviewed companies should or should not report climate-related financial and sustainability elements. Based on publicly available studies and statistical reports, according to 2020 effective 2019/631 defined emission performance standards (European Commission, 2019) the produced companies' CO2 limits

should not exceed the 95 g CO₂/km for passenger cars and 147 g CO₂/km for light commercial vehicles registered in the Union as an average in 2020 and individually from 2021. Car manufacturers should calculate and present their assumptions in their financial/sustainability reports. In Figure 3. based on public information these deviations and penalties were estimated.

CAR MAKER	DEVIATION	PENALTY (in million €)	PENALTY (in % of EBIT 2018)
Mazda	 28.7	877	115.7%
Fiat-Chrysler (FCA)	 27.0	2,461	49.5%
Honda	 25.2	322	5.5%
Ford	 16.2	1,456	39.0%
Volkswagen	 12.7	4,504	32.4%
Volvo	 12.5	382	27.6%
Daimler	 11.0	997	9.0%
Hyundai-Kia	 7.7	797	28.9%
BMW	 7.6	754	8.3%

Figure 4. Overview of potential CO₂ penalties per car manufacturer (PA Consulting, 2020)

Of the three European car manufacturer groups, Volkswagen bears an especially high penalty percentage in comparison to its earnings. Long-term perspectives within 5 years these emission requirements are going to be even stricter and therefore financial impacts are expected to be more significant.

6. Conclusions

Based on the review, a global Sustainability Standard Board (SSB) will need to be committed to the following criteria to fully meet capital market needs and ensure success (Guilott, 2020), hence the reviewed and investigated sustainability reports containing insufficient information. The information to reach an effective state from a disclosure aspect should be traced back to financial statements. Additionally, to the sustainability disclosure issues related to carbon dioxide, potentially significant environmental liabilities (provision) should be recognized and validated back to the financial disclosures. Success factors include creating and addressing a full range of sustainability factors that are material to enterprise value creation (e.g. disclosures). These factors lead to the development of standards that include quantitative metrics/key performance indicators. This addition contributes to developing industry-specific standards for current models. It is necessary as well to build on existing sustainability frameworks/standards and processes that have broad capital markets support.

From a regulatory viewpoint, the missing link includes the guarantee to support the relationships and expertise necessary to develop standards for financially material sustainability disclosure. The linking process often requires broader experience and knowledge sets than that used for financial accounting standards development, and support the establishment of processes to achieve interoperability with sustainability standards focused on multi-stakeholder communication.

Acknowledgement

The research presented in this paper was carried out as part of the “Dynamics and Control of Autonomous Vehicles meeting the Synergy Demands of Automated Transport Systems (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

References

- Anderson, N. (2020). IFRS® Standards and climate-related disclosures. IFRS Foundation educational material. <https://cdn.ifrs.org/-/media/feature/news/2019/november/in-brief-climate-change-nick-anderson.pdf?la=en>, Accessed 25 Nov 2020
- Calace, D. (2016). Battle of giants: GRI vs SASB vs IR. <https://www.greenbiz.com/article/battle-giants-gri-vs-sasb-vs-ir>, Accessed 18 Oct 2020
- Deloitte (2020). IIRC and SASB intend to merge. <https://www.iasplus.com/en/news/2020/11/iirc-and-sasb-intend-to-merge>, Accessed 10 Dec 2020
- GRI (2016). GRI 101: Foundation 2016. Global Reporting Initiative: Amsterdam, The Netherlands.
- Guthrie, J., Manes-Rossi, F., & Orelli, R. L. (2017). Integrated reporting and integrated thinking in Italian public sector organisations. *Meditari Accountancy Research*.
- Hoogervorst, H. (2019). Speech: IASB Chair on what sustainability reporting can and cannot achieve. Climate-Related Financial Reporting Conference 02 April 2019, Cambridge University, UK
- IFRS Foundation (2020). Consultation Paper on Sustainability Reporting. <https://cdn.ifrs.org/-/media/project/sustainability-reporting/consultation-paper-on-sustainability-reporting.pdf?la=en>. Accessed 04 Dec 2020
- Kannenberg, L., & Schreck, P. (2019). Integrated reporting: boon or bane? A review of empirical research on its determinants and implications. *Journal of Business Economics*, 89(5), 515-567.
- Kannenberg, L., & Schreck, P. (2019). Integrated reporting: boon or bane? A review of empirical research on its determinants and implications. *Journal of Business Economics*, 89(5), 515-567.
- Landrum, N. E., & Ohsowski, B. (2018). Identifying worldviews on corporate sustainability: A content analysis of corporate sustainability reports. *Business Strategy and the Environment*, 27(1), 128-151.
- Mohin, T. (2019). ESG information is now critical for investors. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/368be44a-5704-11e9-a3db-1fe89bedc16e>. Accessed 03 Jan 2021
- PA Consulting (2020). How European automotive industry can meet tough CO2 emissions targets. https://www2.paconsulting.com/rs/526-HZE-833/images/PA-CO2-Report-2019_2020.pdf, Accessed 12 Sept 2020
- Rivera, S. J., Minsker, B. S., Work, D. B., & Roth, D. (2014). A text mining framework for advancing sustainability indicators. *Environmental modelling & software*, 62, 128-138.
- CO2logic (2017). GRI and SASB are Designed to Fulfill Different Purposes for Different Audiences. Link: <https://www.co2logic.com/en-US/news/gri-and-sasb-are-designed-fulfill-different-purposes-different-audiences>

SASB (2017). SASB and GRI Pen Joint Op-Ed on Sustainability Reporting Synchronicity. <https://www.sasb.org/blog/blog-sasb-gri-pen-joint-op-ed-sustainability-reporting-synchronicity/>. Accessed 05 Dec 2020

Shin, S. H., Kwon, O. K., Ruan, X., Chhetri, P., Lee, P. T. W., & Shahparvari, S. (2018). Analyzing sustainability literature in maritime studies with text mining. *Sustainability*, 10(10), 3522.

Statista (2018). Leading global automotive companies based on revenue in 2017 (in million U.S. dollars) [Graph]. In Statista. <https://www.statista.com/statistics/504032/global-leading-automotive-companies-by-revenue/>. Accessed 10 Nov 2020

Te Liew, W., Adhitya, A., & Srinivasan, R. (2014). Sustainability trends in the process industries: A text mining-based analysis. *Computers in Industry*, 65(3), 393-400. ESMA (2020). FIELD TEST ON ESEF. Link: <https://www.esma.europa.eu/field-test-esef>

Valverde-Berrocó, J., Garrido-Arroyo, M. D. C., Burgos-Videla, C., & Morales-Cevallos, M. B. (2020). Trends in Educational Research about e-Learning: A Systematic Literature Review (2009–2018). *Sustainability*, 12(12), 5153.

Changes of the maritime carrier's liability

Viktoria Hatwagner-Kovács

Széchenyi István University Faculty of Law and Political Sciences

viktor.kovacs@ga.sze.hu

Abstract: In this thesis, we wish to present the process of legal development of the maritime carrier's liability comprising several centuries. This dissertation works up the changes of regulations concerning one kind of maritime carriage of goods, the line shipping, in other words the carriage of goods with a bill of lading. It covers the changes of regulation of international maritime carrier's liability, as well as the main points and directions of them. In the course of their analysis, their economic and social background and the technical-technological changes of transportation and carriage have also been studied.

Keywords: maritime carrier, liability, regulation

1. Introduction

Nowadays, 80% of international trade are realized by sea.¹ Based on that, it can be stated that this sector of carriage makes up the backbone of exchange of goods and of global trade. In the second half of the 20th century, the quantity of goods carried by sea kept on growing, parallel with the growth of the value of global production of GDP and of trade, the tendency of which was shaken considerably in 2009 only when the crisis of world economy broke out.²

The history of the modern maritime carrier's liability – as it has been presented – is a process of legal practice and legislative activity of three different periods, as a result of which, *two competitive structures of carrier's liability* have developed. The elements of them are reflected also in system of *carrier's liability* of the „old” Civil Code, respectively in the general contractual system of liability of the actual Civil Code sharply separated.

2. Two group of regulations

As it has been presented in the dissertation, one kind of maritime carrier's liability is the traditional variant, the model of liability for damages of the Brussels Convention and of the Rotterdam Rules, and the other one is the liability structure of the Hamburg Rules and their „satellite” rules, wishing to succeed the previous ones.

The carrier's liability on the basis of regulations of the Rules and of the Codex is an objective liability based on receptum situation. It is however not unconditional: a carrier breaking contract can be exempted by virtue of proving any of the causes of exemption listed according to the configuration of liability.

It is a further feature of the regulation that the phase of *locatio* and of *conductio* are separated sharply that is reflected in the dual structure of the maritime carrier's liability. The objective liability is completed by a liability of negligence based on the „normal carefulness”.

¹ The economic importance of carriage of goods: <http://www.geopolitika.hu/hu/2018/10/02/geodebates-vitaindito-szarazfoldi-vs-tengeri-kereskedelem/> (Viewed: 25 March 2019)

² The economic importance of carriage of goods: <http://www.geopolitika.hu/hu/2018/10/02/geodebates-vitaindito-szarazfoldi-vs-tengeri-kereskedelem/> (Viewed: 25 March 2019)

The other group of regulation is the Hamburg Rules and their „satellite” rules. The construction of receptum liability is a constant element of their configuration of liability. A fundamental change came about however at two points: they treat the phases of locatio and conductio consistently from both technical and liability point of view; and they apply the same formula to both that is included in one single general clause.

The limits of indemnity and the rules of procedure of assertion of claims have also been presented, these were shown together. The content and quantity of the regulation grow and develop linearly in these subjects, there are no essential changes among them.

The traditional structure of liability

The construction of liability, based on the establishment of carriage law originating from the ancient Roman law and refined through case law (precedents), assumed a form of statute first in the *Brussels Convention*. Its version completed by the Visby and the Brussels Protocols, the Hague-Visby Rules – although amended several times – serve the practice of the international maritime carriage of goods for almost one century, and they still have a dominant role.

The permanent success of this source of law has, of course, several causes: its practical attitude, and therefore its easy applicability, the opportunity to modify its text – by virtue of reservation – in the course of ratification, an extensive support by the concerned countries, the professional well-founding and an extensive application.

The improved version of that is the most recent regulation of maritime carriage law, the Rotterdam Rules (2009). Answering the challenges of globalization and making use of development of technologies, first of all computer science, they apply essentially the proven structure of the Brussels Convention. Considering their liability structure, they return to the traditional solutions of maritime liability. (They make so clear the weakness of construction of the Convention that is another development line in the carrier's liability structure.)

It increases the importance of the Codex that beyond aiming to form a unified legal framework, it also aims to follow the regulation tendencies of some other international conventions on carriage law (e.g. COTIF-CIM, CMR), moreover it integrates the „classic” system of concepts of carriage law. Thereby it responds to the problems – presented in this dissertation – of the international multimodal legal relations, that is the contractual relations on partly or fully maritime carriage of goods. It can also be valued as a positive attitude that – similarly to the Hague-Visby Rules – its attribute is a practical approach, as well as it has a professionally established and precisely elaborated text by virtue of the cooperation between CMI and UNCITRAL. Moreover it offers a legal solution also to a matter that seems to be technical, that is to the proper application of the electronic documents of carriage and databases, with regard to the most recent tendencies of commerce.

These advantages have been recognized by several, internationally important countries with large economies, too. A wide circle of them accepted the Codex by virtue of signing it, but – as it has been presented – the number of ratifications that is necessary to enter into force is still missing. Significant players of global trade, among them the United States of America, Switzerland, Sweden, Norway, The Netherlands and Spain also signed the protocol of the Codex. Some of the foregoing countries still consider the consequences of ratification, and Guinea-Bissau, the latest signatory – in 2013 – confirmed its intention of catching up – even in spite of the return to the traditional liability structure – in a region where the Codex already gained a foothold, taking the number of signatures into consideration.

The liability structure of the Hamburg Rules

The Convention and its „satellite” sources of law³ broke the traditions of the Hague-Visby Rules based on the Anglo-Saxon legal culture and cast of mind and reflecting the features of the English language. They put the regulatory system of maritime carriage of goods on new grounds, with special respect to the carrier's liability. The motive behind their creation was the adaptation of the developing countries to international trade, the demands of global transport systems spread through the container revolution, as well as the intention to modernize the connecting regulatory environment which are proper endeavours in fact.

³ Multimodal UN Convention, UN Convention on Liability of Terminals.

It is to the advantage of the Convention that it regulates the legal aspects of the maritime carriage of goods thoroughly and in details, and it approaches to the international conventions in force regulating mainland carriages both regarding wording and regarding institutions, as well as regarding extent and content.

Its disadvantage is however clearly that the regulation is too theoretical. This fact is reflected mainly by the rules of liability. It breaks the traditional regulation of the maritime carrier's liability, according to which proving any of the itemized objective circumstances of exemption makes exculpation possible. Instead it applies one single abstracted formula that is assigned to apply both for the stage of locatio and of conductio. In the practice however, its application involves disproportionate difficulties in particular legal disputes.

3. The „formula” of the future

For the time being, there is no unified regulation as for maritime carriage law, and especially there are no rules of a complex regulation in force that would include all legal issues of door-to-door carriage transactions based on one contract of carriage and concerning at least two economic subsectors, with special regard to the carrier's liability. This regulation is imperfect also because the rules of single subsectors – for reason of failure of attempts to codification – cover just partly the common problems of the different ways of transportation and carriage. This results in several difficulties and uncertainties in the practice both regarding the carrier's liability and concerning calculation of the concrete amount of indemnity. These examples and their analysis have been presented in the dissertation.

It is obvious therefore and also according to the regulation tendencies that there is still a demand for a global harmonization of laws. For lack of unified rules, parties concerned in carriage have to determine the conditions of that, the duties of several parties involved in the legal relation, the points of view of division of risks and the conditions of liability individually before concluding every single transaction of carriage.

It takes the edge of the consequences of hiatus considerably that so far the *unified bills of lading* issued by the line conferences have more or less remedied the gaps of regulation and filled them up with contents which the UN and the organizations of representation of interests of maritime trade wished to balance by virtue of general rules to have entered into force. The FIATA Combined Bill of Lading represents a similar means, too. They provide more or less a solution to establish liability and also for the problem of amounts of indemnity to be calculated on the basis of the average value of goods. So *practice compensates somewhat the present periodicity and deficiency of the regulation (moreover this – namely the periodicity of regulation – gives the economic justification for existence of forwarders, as well).*

The future direction of development of laws is yet questionable that may follow three different courses. They represent three different levels of regulation, so they need different kind of compromises. The possible solutions are as follows:

- a Entering of the Rotterdam Rules (Codex) having already been created into force as a global source of law.
- b Creation of „model rules”.
- c Establishing general conditions of contract.

Entering of the Rotterdam Rules as a global international source of law into force

Acceptance and wide-range application of international conventions aiming harmonization of laws contributes the most to development of cross-border trade and physical flow of goods.⁴ Therefore the optimal solution to unify the partly maritime carriage law would be having the Codex entered into force. Its condition is sufficient number of ratification documents (at least 20) to be deposited. If it were realized, the laws regulating international carriage of goods would become fully uniform, after all it was the aim of the Codex to be created. By virtue of the Codex, stability and harmonization of laws on international level could be achieved.

⁴ CASTELLANI, Luca G.-EMERY Cyril (Ford.: KOVÁCS Viktória): A CISG Három dimenziója. Külgazdaság Jogi Melléklet. LXII:(1-2.), 2018., 20-21. o.

Thus the acceptance of a convention as a rule would mean a reasonable solution in the sphere of the international (maritime) carriage law. By virtue of that, every practical problem would stop that concerns especially the basis of the maritime carrier's liability and the extent of indemnity and that resulted in further and further legislation from the beginning of the 1970s. Moreover, it could have a purpose of prevention, too: the Codex pays attention to certain solutions technologically not entirely matured yet regarding carriage of goods (e.g. to the legal conditions of application of electronic databases with regards to tracking the goods). Since these technical novelties are still not regulated by national rules at all, a global regulation would provide a perfect solution for some most recent conditions of life to be controlled.

Entering of the Codex into force would mean (compulsory) state commitments accepted by an international organization (General Assembly of the UN), so a high level international harmonization would be realized.⁵ The commercial need for that – as it has been presented – exists indisputably in the sphere of carriage law.

On the other hand, the participants of world trade come from different families of law, linguistic environment and cultures, their legal system is also different. As it has been presented in the dissertation, it is therefore problematic to implement the unified international laws to a certain national legal system and to explain it uniform.⁶ It may cause problems especially in carriage law, since the maritime private law – regarding its legal structure and its parlance – is based on Anglo-Saxon roots mainly, the conventions transmit however too general and abstract rules occasionally for the purpose of wide-ranging acceptability.

Beyond the foregoing difficulties of „legal practice”, multilateral (global) legislation has political and economic political preconditions, as well, because of the lack of which optimism can only be limited.

Creation and application of „model rules”

The model sources of law are so-called „soft” means of legal regulation aiming similarly the unification of a particular sphere of international private law as the conventions, but they do not ordain commitments to the states, they just serve as a model for legislators.

Therefore the other obvious option regarding unification of international carriage of goods may be the acceptance of model rules. It is a flexible means of regulation that is elaborated and accepted by a global international organization (e.g. UNCITRAL) in optimal case. It does not need a wide-ranging compromise on the part of the countries, it includes namely no commitments done by the single countries.⁷

The aim of the model rules is to regulate a particular sphere of trade law, for example the private law of international carriage of goods. It can be a realistic option because it is accepted by an international organization as a proposal to the text of a regulation that can be applied by the single states as a guidance when they create their national rules. By virtue of that, the practical harmonization of legal systems can also be achieved.⁸

Its advantage is that it is not compulsory. This means that the text of model rules can be formed by every single country according to its own national requirements,⁹ but it remains the same on the basis of rules. It should be specially underlined that the content of model rules are elaborated on the basis of the most applicable legal practices as a result of discussions of experts.¹⁰ Thereby regulations will be formulated which are well-trying in the practice and can be applied certainly.

According to that, creation of model rules definitely seems to be an expedient solution in the sphere of maritime carriage law, since – as it has been presented – they do not assign hardly alterable commitments to the countries and they can be built in any legal system with changes and supplements

⁵ MILASSIN László: The United Nations Commission on International Trade Law (UNCITRAL).

UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft., Győr, 2016., 52. o.

⁶ MILASSIN László: Unification of Laws, endeavours to a unified international private law. In.: Studies in honour of Mr. Barnabás Lenkovics being 65 years old. Eötvös József Publishing Bt. and Deák Ferenc Faculty of Law of the Széchenyi István University. Budapest-Győr. 2015., 308. o.

⁷ MILASSIN (2016): i. m., 52. o.

⁸ MILASSIN (2016): i. m., 53. o.

⁹ MILASSIN (2016): i. m., 52. o.

¹⁰ MILASSIN (2016): i. m., 53. o.

at will.¹¹ Their application can be efficient because they can be changed easier depending on the changes of tendencies of world market and of monetary politics. Thereby – similarly as the convention – they can serve preventive guiding regulatory purposes, with special respect to the quick development of the technology of carriage of goods (e.g. UNCITRAL Model Law on Electronic Transferable Records [2017]¹²).

This would mean an especially useful solution for developing economies. They would implement generally valid rules already well-tried in the practice into their own legal system in a way that they form those rules according to their own needs in the meantime.¹³

It shall be underlined especially that – in spite of their several advantage of application – the practical importance of these means of regulation is not yet self-evident. They can meet the requirements if – following their implementation into the national legal systems – companies and conferences also implement their regulations directly into concrete contracts.

The foregoing and the implementation into national laws are helped by so-called *legislative guides* being close to the model rules. They provide information for interpretation of the model rules and they highlight their social and economic backgrounds. They mediate thereby some alternative solutions, too, which shall be deliberated when national laws are formulated.¹⁴

There are two model rules currently in the sphere of international carriage law. The first one was accepted by UNCITRAL in 1982: „The measures regarding units of account and the measures as for adaptation to limitation of liability in the conventions on international carriage of goods and liability”.

The other one is the „UNCITRAL Model Law on Electronic Transferable Records” [2017]. This source of law regulates issuance of the „Transferable electronic records” and their application in commercial practice.

Unification of general conditions of contract

The general conditions of contract mean standard contracts elaborated without previous negotiations and cooperation, that is *unilaterally*. The conditions of carriage having applied by the line conferences for a long time, that is the bill of lading belongs also under this category. The third possible solution would be the unification of the most frequently applied conditions of carriage in an even wider scope.

These documents were issued later beyond the line conferences also by some railway companies in their daily practice through combined transactions of carriage. The same purpose is aimed by some other conditions of contract in the sphere of international carriage law having applied – considering their antecedents – for centuries.

It is their common feature that they are elaborated by single carriers and by organizations for representation of interests of carriers. They are elaborated on a basis of compromises, so they often make the freedom of contracting unilateral.¹⁵ Many of them is therefore not well-balanced: they include lots of conditions aiming the protection of interest of carriers. In spite of that however, the ruling power of this intermedial means of regulation is almost unique important, especially in maritime carriage of goods. It makes namely possible to unify conditions of contract for homogenous services of big mass having standardized parameters, and by virtue of its unilateral determination, it wholly simplifies the process of contracting.¹⁶ Thus it meets thereby also the challenges of bulk carriage.

Another important group of the general conditions of contract are the papers relating to contracts under private law created as a result of common or at least harmonized activities of international representations of interests of carriers and shippers that unify general clauses of contracts applied by carriers frequently in their trading activity. International entities of representation of interest, like UNCITRAL may also create such means of regulation for contracts.

¹¹ MILASSIN (2016): i. m., 52. o.

¹² l. https://uncitral.un.org/en/texts/ecommerce/modellaw/electronic_transferable_records (Viewed: 31 March 2019)

¹³ MILASSIN (2016): i. m., 52. o.

¹⁴ MILASSIN (2016): i. m., 53. o.

¹⁵ KÓNYÁNE Simics Zsuzsanna: Of the changes of rules of civil law concerning general conditions for contracts. http://acta.bibl.u-szeged.hu/7061/1/juridpol_058_347-364.pdf (Viewed: 2 April 2019)

¹⁶ SZALAY Gyula: A fuvarjog alapjai. Győr, UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft., 2008 (2008): i. m., 37. o.

Application of those is expedient since they provide points of reference for contents to contracting parties in order to conclude their contracts.¹⁷ They can be applied effectively, they are accepted internationally and they are relevant. They aim maritime carriers and forwarders organizing multimodal carriage to apply unified formulae in the practice. Such formulae have been already existing in the daily practice.

In the scope of rail carriage, the General Supplementary Resolutions (DCU) and Business Regulations for Carriage of Goods, the aerial Directions for Handling of Goods by the International Air Transport Association (IATA), as well as the business conditions and model contracts of the International Law Association (ILA), the application of which has become a daily practice.

What is also essential beyond that is the system of conditions of clauses of foreign trade contracts evolved in the practice and collected and elaborated by the International Chamber of Commerce (INCOTERMS). Within the field of forwarding, the general conditions of forwarding of FIATA (*FIATA Model Rules for Freight Forwarding Services*) can also be ranked among them that is published by FIATA from time to time.¹⁸ It is the collection of general conditions of contracts widely used in the sphere of carriage of goods.¹⁹

It is worth to mention that UNCITRAL does not have any kind of such means of regulation for contracts on the field of international carriage law for the time being. (On other fields however, for example regarding procedures of arbitration courts, this kind of solution of regulation is extremely widespread²⁰).

This kind of harmonization of international carriage law is still a well-operating solution, but the personal and geographic „extension” of the application of unified documents and the „depth” of its rules is not full-scope.

Of the three possible methods of regulation, in our view, this one, i. e. creation of „model rules” has the biggest chance to be realized in medium term.

References

- [1] CASTELLANI, Luca G.-EMERY Cyril (Ford.: KOVÁCS Viktória): A CISG Három dimenziója. Külgazdaság Jogi Melléklet. LXII:(1-2.), 2018.
- [2] KÓNYÁNÉ Simics Zsuzsanna: Az általános szerződési feltételekkel kapcsolatos polgári jogi szabályozás változásairól. http://acta.bibl.u-szeged.hu/7061/1/juridpol_058_347-364.pdf (Visited: 2 April 2019)
- [3] MILASSIN László: Az ENSZ Nemzetközi Kereskedelmi Jogi Bizottsága (UNCITRAL). UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft., Győr, 2016.
- [4] MILASSIN László: Jogegységesítés, egységes nemzetközi magánjogi törekvések. In.: Tanulmányok a 65 éves Lenkovics Barnabás tiszteletére. Eötvös József Könyv-és Lapkiadó Bt., valamint a Széchenyi István Egyetem Deák Ferenc Állam-és Jogtudományi Kara. Budapest-Győr. 2015.
- [5] NEMESSÁNYI Zoltán-BÁN Dániel: A bizományi és a szállítmányozási szerződés. CompLex Kiadó Jogi és Tartalomszolgáltató Kft., Budapest, 2011.

¹⁷MILASSIN (2016): i. m., 55. o.

¹⁸NEMESSÁNYI Zoltán-BÁN Dániel: The contract of consignment and the contract of forwarding. CompLex Kiadó Jogi és Tartalomszolgáltató Kft., Budapest, 2011. 133. o.

¹⁹NEMESSÁNYI-BÁN: i. m., 133. o.

²⁰Rules on Transparency in Treaty – based Investor-State Arbitration (2014). UNCITRAL Arbitration Rules (1976, 2010, 2013). UNCITRAL Conciliation Rules (1980).

[6] SZALAY Gyula: A fuvarjog alapjai. Győr, UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft., 2008.

