

DIGITÁLIS JÁRMŰIPARI KUTATÁSOK a Széchenyi István Egyetemen

Konferenciakiadvány 2021

DIGITÁLIS JÁRMŰIPARI KUTATÁSOK
a Széchenyi István Egyetemen
Konferenciakiadvány 2021

Lektorok:

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

Széchenyi István Egyetem
2021

ISBN 978-615-5837-89-0

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|-----|
| A járműszintű radar-szenzor-kamera tesztelések kihívásai <i>Jagicza Márton, Pekk Leticia, Dr. Hány András</i> | 7 |
| A ZalaZONE park járműipari kutatásai, mint egy értékteremtő szolgáltatási rendszer alapjai <i>Tóth Csilla, Pekk Leticia, Dr. Hány András</i> | 15 |
| A jármű mérések lehetőségei a ZalaZONE tesztelési és kutatási környezetben <i>Peszleg Richárd, Pekk Leticia, Dr. Hány András</i> | 22 |
| Az Autonóm Mobilitási Környezet (AMS) tesztelési koncepció <i>Tóth Gábor, Pekk Leticia, Dr. Hány András</i> | 30 |
| Pályaeépítő mobil robot prototípus fejlesztése <i>Hajdu Csaba, Boros Norbert, Ballagi Áron</i> | 36 |
| Forgalomtechnikai terelőbója manipulációja valós és szimulált mobilplatform alapon <i>Krecht Rudolf, Gömböcz Zoltán, Szilágyi Zoltán, Ballagi Áron</i> | 48 |
| Forgalomtechnikai terelő bója vizuális észlelésen alapuló pozíció és orientáció meghatározása <i>Hollósi János, Markó Norbert, Ballagi Áron</i> | 56 |
| Az autonóm járművek fejlesztésének gazdasági szempontjai <i>Gyurián Norbert</i> | 63 |
| Önvezető járművek tesztelése közutakon a világ különböző országaiban - felkészültség, korlátozások, eredmények <i>Végh Ladislav</i> | 71 |
| A digitális térben megfigyelt fogyasztói magatartás változása a járvány hatására <i>Vastag Timea, Dr. Eisingerné Dr. Balassa Boglárka</i> | 83 |
| Money muling - Átverések és pénzmosás az online térben <i>Nagyová Nikoleta</i> | 90 |
| Dark patterns technikái <i>Fodor Dorina</i> | 98 |
| Social Engineering a közösségi médiában <i>Koteczki Réka</i> | 103 |
| Tesztcélú önvezető jármű számítógépes szimulációjának alkalmazhatósági kérdései <i>Krecht Rudolf, Unger Miklós</i> | 109 |
| Útválasztó algoritmusok hatékonysági vizsgálata a kapszula hálózatok területén <i>Hollósi János, Ballagi Áron</i> | 114 |
| Járműipari alkalmazású HMI vizsgálati mérőrendszer tervezése <i>Nagy Viktor, Kovács Gábor</i> | 121 |
| Alacsony induktivitású H-hidas DC motor meghajtó fejlesztése <i>Gulyás Péter, Szeli Zoltán</i> | 129 |
| Autonóm járművekhez fejlesztett navigációs rendszer mérési adatainak elemzése <i>Somogyi Huba, Soumelidis Alexandros</i> | 135 |

| | |
|---|-----|
| Appreciation of Massive Open Online Course (MOOC) platforms in the Hungarian automotive industry <i>Márk Csidei</i> | 141 |
| Analysis of the Central and Eastern European Automotive Industry in relation to Hungary, the Czech Republic, and Slovakia <i>Sára Gerda Vig, Alex Suta, Árpád Tóth</i> | 147 |
| Review of Hungarian companies engaged in the development of autonomous vehicles <i>Kitti Kelemen, Alex Suta, Árpád Tóth</i> | 161 |
| Az amerikai tőzsdék vezető autóipari vállalatainak részvényértékelése a világjárvány idején: Túlértékelték vagy alulértékelték? <i>Balázs Gönczy</i> | 176 |
| HD Map-ek használata önvezető járművek globális és lokális útvonal tervezéséhez <i>Mesics Mátyás</i> | 184 |
| Útpadkával határolt szabad terület detektálása MLS LiDAR pontfelhő alapján <i>Csaplár László, Patai Bence</i> | 190 |
| LIDAR adat és nyílt téradat fúzió pályamodellek létrehozásához járműszimulációs környezet számára <i>Dr. Enisz Krisztián , Dr. Speiser Ferenc, Dr. Fodor Dénes</i> | 206 |
| Akadályelkerülés: a koncepciótól a megvalósításig <i>Miklós Unger, Claudiu Pozna, Ernő Horváth</i> | 216 |
| Modell alapú helykoordináta pontosítás Kálmán-szűrővel <i>Medve Hunor, Dr. Enisz Krisztián, Dr. Fodor Dénes</i> | 221 |
| Kezdeti paraméterek hangolása neurális hálózatok alkalmazáskörében <i>Markó Norbert, Hollósi János</i> | 232 |
| Aszinkronmotoros hajtás enkóderhiba-tűrő sebességszabályozása <i>Horváth Krisztián</i> | 240 |
| A lítium polimer akkumulátorok alakváltozása és a töltöttségi szintje közötti összefüggések elemzése <i>Kocsis Szürke Szabolcs, Lakatos István</i> | 246 |
| Állandó mágneses szinkron motorok érzékelő nélküli kezdeti szöghelyzet meghatározása <i>Szalay István, Fodor Dénes</i> | 254 |
| Szoftver szenzoros gumiabroncs-nyomás monitorozó rendszer (TPMS) kiterjesztése az útfelület érdességének becslésére <i>Márton Zoltán, Fodor Dénes</i> | 268 |
| Enkóder jelének feldolgozására alkalmas, CAN kommunikációt megvalósító nyomtatott áramkör tervezése és programozása <i>Gyórfy Richárd</i> | 276 |
| Karosszéria és futóműelemek koordináta mérése és kiértékelése szimulációs környezetben <i>Bieder Balázs</i> | 281 |

AUTONÓM JÁRMŰRENDSZEREK KUTATÁSA A ZALAEGERSZEGI AUTONÓM TESZTPÁLYÁHOZ KAPCSOLÓDÓAN

EFOP-3.6.2-16-2017-00002

Kedvezményezett:

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

Konzorciumi partnerek:

Pannon Egyetem (PE)

Széchenyi István Egyetem (SZE)

Az Európai Unió és a Magyar Állam által nyújtott támogatás összege: 1 496 499 445 Ft

A támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2017. június 1. – 2021. június 30.

Projektismertető:

A projekt átfogó célja, hogy a Széchenyi István Egyetem, a BME és a Pannon Egyetem együttműködésében megvalósuló tematikus kutatás által hazánk az eddigieknél sikeresebben tudjon beágyazódni az európai kutatási hálózatokba és ezáltal növelni tudja a magyar felsőoktatás potenciálját a kutatás-fejlesztés és innováció terén. Jelen projekt kiemelt célja, hogy a konzorciumi partnerek kutatás-fejlesztési feltételrendszerének javítása keretében olyan szintű kutatásokhoz szükséges humán erőforrás- és szolgáltatásfejlesztés valósuljon meg, amely megalapozza a kutatási eredmények felhasználásának és a kutatási tevékenységek hosszú távú finanszírozásának lehetőségét, ezzel jelentősen hozzájárulva a gazdasági szférával való együttműködés erősítéséhez.

A kutatás elsődleges célja a jövőben meghatározó járműtechnológiák (autonóm járművek, e-mobilitás) tesztelési folyamatainak kutatása és a Zalaegerszegen épülő tesztpálya műszaki támogatása az érintett témában. A kutatás közvetlen célja az autonóm járművek és az elektromos járművek tesztelési eljárásainak kutatása, amely kiterjed a tesztelési módszerek különböző rétegeire (szimulációs technológiák, laboratóriumi tesztek, tesztpályán elvégezhető, korlátozott közúti és közúti tesztek vizsgálata), mind a komponensek, mind a rendszerek szintjén, megfelelő támpontot nyújtva a jelenleg Zalaegerszegen épülő tesztpálya jövőbeli funkcionalitásához. A speciális esetekre vonatkozó tesztek vizsgálata szintén megtörténik, mivel a baleseti helyzetek ezekben a különleges járművekben más kezelést igényelnek (pl. elektromos járművek nagyfeszültségű akkumulátorainak kezelése).

A jármű szintű radar-szenzor-kamera tesztelések kihívásai

Challenges of vehicle-level radar-sensor-camera testing

Jagicza Márton^a, Pekk Leticia^b, Dr. Hány András^c

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE
jagicza.marton@sze.hu

^bZalaegerszegi Technológiai Centrum
leticia.pekk@tc.org.hu

^cZalaZONE Ipari Park Zrt.
andras.hary@apnb.hu

Absztrakt: Az autonóm járművek technológiai megvalósításához szükséges rendszerelemek rohamosan fejlődnek. Az automatizált vezetéstámogató rendszerek megbízhatósága érdekében, a különböző szenzorokat szükséges tesztelni. Elsősorban termékszintű vizsgálatokkal könnyen igazolható a termék működése, azonban járműszintű tesztelésére nem állnak rendelkezésre előírások. Ezekhez a tesztekhez különböző scenáriók felállítása szükséges, amelyek többszörösen visszajátszhatók. Ezen vizsgálatok megalapozásában végeztek kutatásokat és méréseket a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központban található Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutató Központ mérnökei. A cikk bemutatja a különböző vezetéstámogató rendszerek tulajdonságait és kalibrálási lehetőségeit, illetve az elvégzett radar keresztmetszet teszt eredményeit.

Kulcsszavak: szenzor, radar tesztelés, kalibráció, lidar, szenzorfüzió

Abstract: The system elements required for the technological implementation of autonomous vehicles are developing rapidly. The reliability of the automated driving support systems is of interest, and the various sensors need to be tested. Primarily, product-level testing can easily verify product performance, but there are no specifications for vehicle-level testing. These tests require the setting up of different scenarios that can be replayed multiple times. Research and measurements were carried out by the engineers of the Széchenyi István University Automotive Research Center at the ZalaZONE Research and Technology Center. The article presents the properties and calibration possibilities of different guidance systems and the results of the performed radar cross-section test.

Keywords: sensor, radar testing, calibration, lidar, sensor fusion

1. Bevezetés

A XXI. században az emberek többségének a gépjármű nélkülözhetetlen eszköze, a gyorsan fejlődő infrastruktúrák, és az ezzel együtt növekvő távolságok miatt. Az egyre növekedő használat miatt kiemelt fontossága van a gépjárművek biztonságának. Napjainkban a biztonság elérése érdekében minél több gépjármű modellben számos vezetéstámogató rendszer elérhető, melyek biztonságos működéséhez jelentős mennyiségű tesztet kell

végrehajtani annak érdekében, hogy azok a fejlesztést követően hibátlanul működjenek és könnyítsék a vezető feladatát.

A vezetéstámogató rendszerek (ADAS), olyan információkat szolgáltatnak a vezetőnek, amelyek révén az adott helyzettől függően képes lesz változtatni a vezetéssel kapcsolatos döntésein. Így például a járókelőket figyelő alrendszer figyelmezteti a vezetőt, ha valaki váratlanul az úttestre lép. A veszélyes helyzetekben nyújtott segítség egészen odáig terjedhet, hogy a baleset vagy ütközés elkerülése érdekében a rendszer beavatkozik vagy felülbírája a vezető akaratát.

Példák a legismertebb, biztonságot elősegítő ADAS rendszerekre:

- Vészfék asszisztens (AEB – Automatic Emergency Braking),
- Adaptív sebességtartó automatika (ACC - Adaptive Cruise Control),
- Sáv tartást segítő rendszer (LKAS - Lane keeping assistance systems),
- Parkolást segítő rendszer (APS - Assisted parking system).

2. A vizsgálatok tárgyát képező elemek

2.1. A radar

A radar elnevezése egy mozaikszóból ered; a „Radio Detection And Ranging”, magyarul rádióérzékelés és távmérés vagy rádiólokátor. A felhasznált sugárzás jellege szerint létezik folytonos hullámmal (continuous wave, CW) működő és impulzusüzemű radar.

A radar rendszer fő komponensei:

- Duplexer: monostatikus radaroknál szükséges, ahol egy antenna végzi az adó jelének kiküldését és a vevő számára a sugárzás érzékelését. A duplexer felváltva kapcsolja az antennát az adóhoz és a vevőhöz.
- Adó (transmitter): egy meghatározott hullámformájú, nagy energiájú elektromágneses sugárzást állít elő.
- Vevő (receiver): az objektumról visszaverődött sugárzás jelét erősíti, illetve demodulálja.
- Antenna: kisugározza, illetve fogadja a térben terjedő elektromágneses hullámokat.

Céltárgyak paraméterei:

A jármű radarok szempontjából a céltárgy legfontosabb tulajdonságai a sebessége és a távolsága. Fontos jellemzője még a radarkeresztmetszet, amely alapján jó közelítéssel beazonosítható, hogy az adott objektum milyen típusú (gyalogos, kerékpáros, személygépjármű, kamion). A radarkeresztmetszet (Radar Cross Section, RCS) egy objektum visszaverő képességét méri. Számszerű értéke megegyezik egy ugyanilyen visszaverő képességű gömb keresztmetszetének területével. Értéke függ az objektum anyagától, alakjától, a megvilágítás szögétől és az alkalmazott hullámhossz és az objektum méretének arányától.

Néhány jellemző radarkeresztmetszet m^2 -ben: ($1 m^2 = 10 \cdot \log_{10}(1 m^2/1) = 0 \text{ dbm}^2$)

- Kamion: $200 m^2$
- Személygépjármű: $100 m^2$
- Kerékpár: $2 m^2$
- Ember: $1 m^2$

Frekvenciaszabályozások:

Az Európai Unióban 2013 közepétől az új járművekben már csak egyfajta frekvenciasávú, 79 GHz-es tartományú radarérzékelőket lehet alkalmazni. A 79 GHz-es frekvenciasávban található gépjármű adatok európai frekvenciaszabályozása, amely a teljes 4 GHz-es sávszélességet lefedi 77,0- 81,0 GHz-re, lehetővé teszi a nagy felbontású középhatású radarok megtervezését. A 77 GHz-es sáv két részre osztható, 76-77 GHz és 77-81 GHz, tehát ezek nem fedik át egymást. Ezen a kisebb hullámhosszon kisebb antennák használhatóak, ezzel együtt az elérhető szögfelbontás növelhető. Továbbá a magasabb frekvencia miatt a Doppler eltolódás is nagyobb, így a sebességfelbontás javul. Az alsó, 76-77 GHz-es sávot a nagy hatótávú felhasználás jellemzi, ahol kisebb felbontás szükséges (77 GHz javított szög és sebességfelbontások). A szélesebb 77-81 GHz-es sávot a rövid hatótávú (30-50 m), nagyobb felbontású sávszélesség igényes radarok alkalmazzák (a 79 GHz drasztikusan javítja a felbontást).

Magasabb frekvencia a várható jövőbeni fejlesztések után várható (122/140 GHz).

2.2. Kamerák

A közúti jelzőtáblák detektálására többféle módszert találunk a szakirodalomban. Ezek különféle algoritmusok segítségével végzik el az út menti objektumok felismerését.

Egyik módszer a színsegmentálás. Ez a módszer a fények különböző hullámhosszú visszaverődésén alapszik. A kapott érték nem függ a fény beesési szögétől és a fény erősségétől. Gyakorlati esetben ez nincs mindig így, mert a színértékek bizonyos esetekben változhatnak. A módszer egy bizonyos színre keres rá és ezt a szint kiemeli, a többit elszűrkíti.

Egy másik módszer az élek detektálása. Ez a módszer éleket keres, majd ezt követően a szabványos alakzatokat ismeri fel.

2.3. LiDAR

A LiDAR szó a „light” és „radar” szavak összetételéből jött létre, de a radarhoz hasonlóan értelmezhető mozaikszóként is (Light Detection And Ranging, távérzékelés és mérés fényel). Felhasználási területei távolság, sebesség, mérés, esetleg anyagok kémiai összetételének és koncentrációjának meghatározása. LiDAR eszköz segítségével a környezet letapogatható és háromdimenziós modell készíthető róla. A LiDAR működési elve megegyezik a radaréval; fényjeleket bocsájt ki, majd egy tárgyról visszavert sugárzást elemezve a háttér algoritmus kiszámítja annak helyét, sebességét. A vevőantenna szerepét fotodióda vagy foto elektronsokszorozó tölti be. A fő különbség a radarhoz képest a felhasznált sugárzás kisebb hullámhossza miatt az elérhető pontosság, ami a LiDAR esetében sokkal nagyobb, így akár a levegő szennyezettségének vizsgálatára is használható. Hátránya azonban, hogy időjárás körülményekre érzékeny.

2.4. Ultrahang szenzor

Az ultrahang érzékelő a nagyfrekvenciás hanghullámok visszaverődése alapján működik. Egy rövid, impulzusszerű jel kibocsátása után adó üzemmódból átkapcsol vevő üzemmódba (mikrofon) és érzékeli a reflektált jelet. Járművekben a parkolást segítő rendszereknél használnak ultrahang szenzorokat. Egy-egy ADAS funkció esetén általában több szenzor szükséges a megvalósításhoz.

2.5. Szenzorfüzió

A szenzorfüzió egy vezetőtámogató rendszer esetén három lépésben valósítható meg: adatfüzió, környezeti modell és szituációértelmezés. A videó, radar és navigációs rendszereken alapuló egységes architektúrába illeszkedve a különböző szenzorok a jármű kommunikációs hálózatán továbbítják a saját mérési eredményeket, az integrált vezérlő egység ezen adatok alapján felépíti a környezeti modellt. A szituáció értelmezése során a környezeti modell és a jármű saját mozgás adatainak feldolgozásával a rendszer eldönti, hogy az adott helyzetben milyen események mekkora valószínűséggel következhetnek be. Például, ha egy autópályán (út attribútum: navigáció, térkép információ) a belső sávban (sáv meghatározás: kamera információ) halad nagy sebességgel a jármű, az objektum listából (füzionált kamera és radar információ) ki lehet választani azon járműveket, amelyekkel az aktuális dinamikus jellemzőket (sebesség, irány) figyelembe véve például összeütközés valószínűsíthető.



1. ábra: Szenzorfüzió

3. Szenzor kalibráció

Egy hosszú távú radar (Long-Range Radar) esetén, a jeladó állásának 1 fokos vízszintes eltérése 180 méter távolságban már körülbelül 3,1 méter eltérést okoz, ez pedig azt eredményezheti, hogy egy, a másik sávban haladó járművet fog a rendszer érzékelni, nem pedig a jármű sávjában lévőket.

A kamera kalibrációja során, a kamera belső és külső paramétereit határozzuk meg egy térben elhelyezett referencia pont segítségével, mely megegyezik a kép koordinátaival. A kalibráció kapcsán a torzítás két fő fajtáját különböztetjük meg a radiális és a tangenciális torzítás. A radiális torzítás miatt az egyenes vonalak görbének látszanak, és ez nagyban megnehezíti a megfelelő objektum detektálását.

Ezért is szükséges, hogy a szenzorok minden esetben megfelelően legyenek kalibrálva. A kalibrációt labor körülmények között végezzük el, és a beállított paraméterek megfelelő működését visszaellenőrizhetjük a teszt pályán az erre alkalmas, a valóságot illusztráló környezetben.

4. Tesztelés és elvégzett vizsgálatok

A vezetés támogató rendszerek tesztelésére elérhető szabványok és ajánlások, ezeket érdemes alapul venni a szenzor tesztek esetén is. A szenzoroknak különböző objektumokat kell detektálni, viszont egy valóságos gyalogost, biciklist, vagy egy járművet nem lehet a tesztekhez alkalmazni biztonsági okokból, így olyan targeteket kell használni, amelyek megfelelően reprezentálják ezeket. Ez a radar vizsgálata szempontjából azt jelenti, hogy a használni kívánt target radar keresztmetszete meg kell egyezzen egy gyalogoséval, továbbá úgy is kell kinéznie, mint egy gyalogos, hogy a kamera is gyalogosként érzékelje. Így mielőtt a pályán felépítünk egy tesztelésre alkalmas szituációt, az összes teszthez használni kívánt elemet vizsgálnunk kell, hogy az megfelel-e a követelményeknek. Egy ilyen target segítségével már számos (pl. vészfék asszisztens teszteknel alkalmazott) scenáriót meg tudunk valósítani.

Egy másik lehetőség, hogy labor környezetben egy úgynevezett Target Simulátor eszköz segítségével a járműre szerelt radarból kisugárzott jelet elnyeljük és egy olyan jelet küldünk vissza, amely az adott scenárióban szereplő target objektum paramétereit tartalmazza. A valósághoz képest a jelenlegi ismeretek alapján itt még a lehetőségek korlátozottak, viszonylag kevés target generálható, a járművet szerviz üzemmódban kell használni, továbbá, ha a vezetés támogató rendszer fuzionálva működik, az érzékelők közül csak a radarnak tudunk környezetet szimulálni.

4.1. A mérések előkészítése

Egy Continental ARS 408-as radarral lehetőségünk nyílt közelebről megismerkedni. Elsődleges feladatunk volt, hogy a radarhoz tartozó technikai dokumentációkat megértsük, viszont ahhoz, hogy ezt érthessük a CAN kommunikációt is szükséges érteni, mivel a radar rendszerek ezen keresztül kommunikálnak. A kapcsolódó CAN kommunikációs protokoll megértését követően sor került az ARS408-as radarhoz kapcsolódó összegyűjtött dokumentációk áttanulmányozására. A radar tápellátása 12 és 24V között ajánlott, de 8 és 32 V között is működik. Magas sebességű 500kb/s-os CAN kommunikációs képességgel

rendelkezik. A rövidtávra és távolra egyaránt észlelő, járműiparban használt radarnak közelre +60 és -60 fok között, míg távolra +9 és -9 fokos a látószöge.

A radar technikai dokumentációjának megértése során a legfontosabb információ a radar által küldött CAN üzenet. Egy CAN kódnek 4 fő eleme van:

- ID (cím): ez határozza meg az adatot, ezt nevezik a kód címének. Pl.: 0x701.
- Length (hosszúság): megadja, hogy milyen hosszú lesz az adathalmaz
- Data (adat): hexadecimális kódban kapjuk, meg amely 00-tól FF-ig terjed.
- Timestamp: ezt maga a CAN kód nem tartalmazza, de visszakövethető melyik időpillanatban érkezett a kód a buszvonatra.

A nulladik bit (az adatokból az első hexadecimális szám) az adott táblázat első sora, amely jobbról balra haladva növekszik.

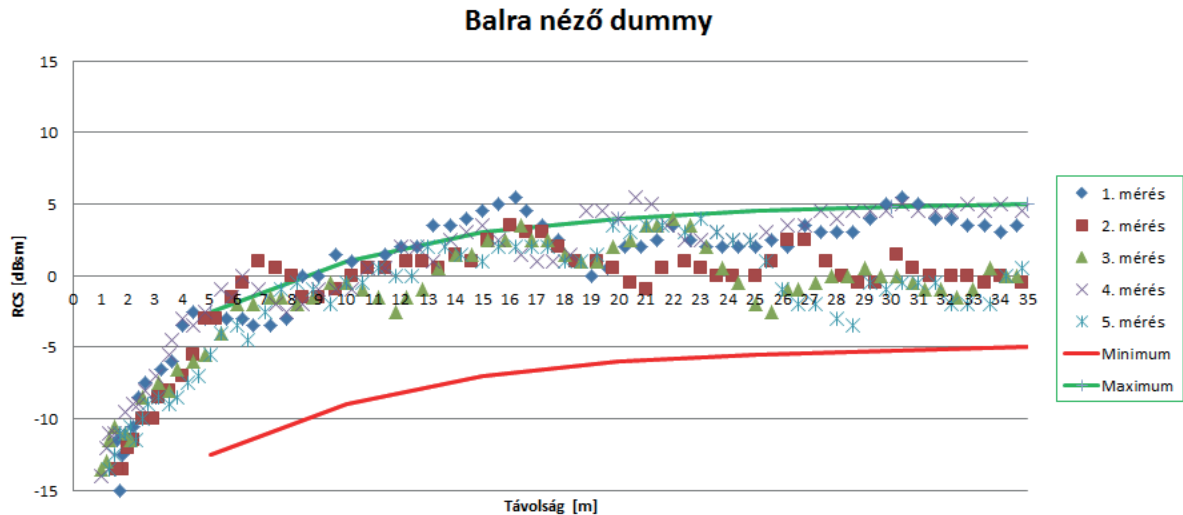
Egy Kvaser Memorator R Semi Pro real time CAN-USB interfészt alkalmaztunk ehhez az eszközhöz. A mérések elvégzéséhez ki kellett építenünk a CAN hálózatot, amelynek a része volt a radar és a lezáró ellenállás. A Kvaser eszközt közvetlenül csatlakoztattuk a vizsgáló számítógéphez, a radarból érkező adatok olvasásához egy CanKing nevű szoftvert használtunk. A programban megfelelő intenzitással érkeznek az adatok hexadecimális formában. Ahhoz, hogy ezeket az adatsorokat értelmezni tudjuk, szükséges egy úgynevezett, a radar adataihoz tartozó, candbc fájl. Ezt a fájlt magunk készítettük el a Vector CANdb++ nevű programban a radar technikai dokumentáció alapján megismert, dekódolással kapcsolatos tudás segítségével. A DBC fájlt signal-onként kell megírni, melynek során az alábbiakat kell definiálni: kezdő bit (start bit), bit olvasás iránya, hosszúság (length), eltolás (offset), felbontás (factor), maximum érték, minimum érték, mértékegység (unit). Miután elkészültünk az összes ID és az ID-k-hoz tartozó signal megírásával, a dbc-t feltölthetjük a CanKing-be és az adatok ezután már értelmezhető módon érkeznek. Az érzékelt pontokhoz tartozó adatok az x, y távolság értékek, RCS, stb.

A következő feladat az volt, hogy a radar ne pontokat (Cluster), hanem objektumokat (Object) figyeljen, így lesz lehetőségünk egy embert, biciklist vagy egy járművet detektálni. Ahhoz, hogy ezt át tudjuk állítani, egy olyan CAN kódot szükséges írni, melyet a radarnak elküldve a CanKing-en keresztül az már nem a 0x701-es érzékelt pontokhoz tartozó kódokat küldi, hanem a 0x60B, amely kód már egy érzékelt objektum adatait tartalmazza.

Az utolsó feladat a radar rögzítésére egy megfelelő tartó szerkezet készítése. Ezt a feladatot egy kamera állvánnyal és egy speciális közdarabbal oldottunk meg, mely közdarabbal lehetőségünk nyílik gyorscsatlakozással felhelyezni a radart az állványra.

4.2. Elvégzett mérések

A radart felhelyeztük a tesztjármű elejére a mérések céljából, mivel a kutatásaink alapján kimondható, hogy egy tárgy radar keresztmetszet (RCS) értéke távolság függvényében változik, amely egy minimum és maximum tartomány között mozog. A gyalogost szimuláló targetet (dummyt) egy fix ponton elhelyeztük a pálya felületén a felezővonalától 1,75 m-re (a sáv közepén). Ezután a járművel 30 km/h-val megközelítettük a dummy-t és mikor a kritikus távolságba értünk, állóra fékeztük a járművet. A radar mérési távolságát 35 m-re állítottuk, így a mért adatok átlagosan 1,5-35 m-es tartományban terjedtek. Ezt a szituációt vizsgáltuk végig különböző sérülékeny úthasználókat szimuláló targetekkel, majd kiértékeljük a mérések eredményét.



2. ábra: Kiértékelt mérési eredmények diagramon ábrázolva

A diagram vízszintes tengelyén a távolság értékek, míg a függőleges tengelyén a vizsgált dummy radar keresztmetszete figyelhető meg.

A mérések alapján látható kisebb szórás, amely a felsőhatár mentén mozog, ahogy a jármű mozog a target bábuhoz viszonyítva. A jármű és a dummy közti távolság csökkenésével, egyenlítőek ki a mért érték (kb. 17 méter után). Ebből arra következtethetünk, hogy számos tényező befolyásolhatja a mérés pontosságát, még egy ilyen egyszerűbb mérésnél is. Összeségében elmondható, hogy a vizsgált dummy a mért értékek alapján szinte minden esetben a megengedett tartományban volt. Így kimondható, hogy alkalmas gyalogos szimulálására, akár egy vészfék teszt esetén.

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

- Törő Olivér, Gorác Gergely, Baranyi Márk: *Autonóm tesztjármű érzékelőinek és szenzorfüziós lehetőségeinek vizsgálata*
- Cédric Malaquin: *Radar and wireless technologies for automotive, 2019*
- Barta Áron, Blumenschein Dániel, Dr. Csörnyei Márk, Daróczi Gábor, Dr. Kis László, Kovács Ákos, Mészáros András, Milanovich László, Nagy Dániel, Dr. Nyilas Krisztián, Szaszko Péter, Szentirmai Zoltán, Szőke Zsolt: *Bosch, korszerű autóiipari termékek és fejlesztési módszereik*

- Telekesi Tibor: *Autótechnika, A Volkswagen radaralapú ACC rendszerének újra kalibrálása* Link: <https://autotechnika.hu/cikkek/karosszeria/7271/a-volkswagen-radaralapu-acc-rendszerek-ujrakalibralasa>

A ZalaZONE park járműipari kutatásai, mint egy értékteremtő szolgáltatási rendszer alapjai

Automotive researches of ZalaZONE Park as basis of a value-driven service system

Tóth Csilla^a, Pekk Leticia^b, Dr. Hány András^c

^aZalaZONE Ipari Park Zrt.
csilla.toth@zalazonepark.hu

^bZalaegerszegi Technológiai Centrum
leticia.pekk@tc.org.hu

^cZalaZONE Ipari Park Zrt.
andras.hary@apnb.hu

Absztrakt: A Tudományos és Innovációs Park fejlesztésének célja, hogy a zalaegerszegi járműipari tesztpálya környezetében megvalósuló innovációs ökoszisztéma létrejöttét elősegítse, ezzel hozzájárulva a tesztpálya translációs hatásának erősítéséhez, és egy nemzetközi szinten versenyképes, tudásalapú rendszert hozzon létre az ipari és járműipari fejlesztések, tesztelés és validáció területén. A zalaegerszegi Tudományos és Innovációs Parkban a cél egy tudásalapú struktúra felépítése, amelyben olyan kompetenciákat állítunk fel, amelyek alkalmasak mind az ipari igények, mind a kutatási-tudományos elvárások kielégítésére. Ebben az ökoszisztémában az ipari szereplők, egyetemek és kutatóintézetek helyben működő és távoli egységei adják a rendszer alapját képező tudásbázist. Ebben az innovációs ökoszisztémában, a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központban, a tudományos és innovációs park programban és a folyó kutatás-fejlesztési tevékenységekben is meghatározó a Széchenyi István Egyetem szerepe és jelenléte. A Járműipari Kutatóközpont, annak Zalaegerszegen működő és fejlődő egysége nemcsak szerves része, hanem alakítója a ZalaZONE környezetnek. A cikk célja a ZalaZONE park koncepciójának, elvi megfontolásainak bemutatása, illetve a Széchenyi István Egyetem parkban működő tevékenységeinek elhelyezése a kutatóközpont szolgáltatási portfóliójában.

Kulcsszavak: tudományos park, autonóm jármű tesztelés, értékvezérelt rendszerek

Abstract: The aim of the development of the Science and Innovation Park is to promote the creation of an innovation ecosystem in the Zalaegerszeg automotive proving ground environment, thus contributing to its translational impact and creating an internationally competitive, knowledge-based system for industrial and automotive development, testing and validation. In Zalaegerszeg Science and Innovation Park, the goal is to build a knowledge-based structure in which competencies set-up are suitable for satisfying both industrial needs and scientific researches. In this ecosystem, local and remote units of industry, universities and research institutes provide the knowledge base that underpins the system. The role and presence of Széchenyi István University is also decisive in this innovation ecosystem, the ZalaZONE Research and Technology Center, the science and innovation park program and the ongoing R&D activities. The Automotive Research Center (JKK) and its developing operational unit at Zalaegerszeg is not only an integral part but also a shaper of the ZalaZONE environment. The aim of the article is to present the concept and considerations of the ZalaZONE park and to place the activities of Széchenyi István University in the park in the service portfolio of the research center.

Keywords: science park, autonomous vehicle testing, value-driven systems

1. Bevezetés, a ZalaZONE park lényege

Napjainkban egyre erősödik a különböző ipari szereplők, oktatási intézmények és kutatóintézetek közötti együttműködés létjogosultsága. Ennek egyik háttere, hogy a világban folyó technológiai átalakulás különböző területei (például ilyen a mobilitás és a járműipar átalakulása is) kifejezetten igénylik a multidiszciplináris és transzdiszciplináris megközelítést. Az együttműködések egyik tere a klasszikus kooperációs hálózatok intenzív működtetése, ugyanakkor nő a szerepe azoknak a fizikai környezeteknek is, amelyek lokális innovációs ökoszisztéma keretében helyt adnak az érintett szereplőknek. A ZalaZONE Tudományos és Innovációs Park fejlesztésének célja, hogy a zalaegerszegi járműipari tesztpálya környezetében megvalósuló innovációs ökoszisztéma létrejöttét elősegítse, ezzel hozzájárulva a tesztpálya transzlációs hatásának erősítéséhez és egy nemzetközi szinten versenyképes, tudásalapú rendszert hozzon létre az ipari és járműipari fejlesztések, tesztelés és validáció területén.

A helyben kutatás-fejlesztési bázisokat létrehozó egyetemek, kutatóintézetek és egyéb szolgáltatók tudásbázisára építve, velük együttműködésben, kutatás-fejlesztésben és innovációban, valamint az ipari technológiák terén élen járó vállalkozások települhetnek a parkba. Ezzel kialakul az a tudományos és innovációs parki környezet, amely az ipari növekedés katalizálójaként, az egész térség gazdasági versenyképességére pozitív hatást gyakorolhat, hiszen a várakozások szerint mindezen folyamatok további beruházásokat és újfajta tudásbázisokat vonzanak a térségbe, és pozitívan hatnak a szakmai alapú hálózatos együttműködésekre, nemzetközi beágyazásra.

A tudásalapú gazdasági tevékenységek helybe vonzásához az épített kutatás-fejlesztési infrastruktúra mellett egyre inkább a fogadó környezet, a lokalizálódó tudások, egyetemi és kutatóintézeti szereplők, a helyben és a térségben működő tudásintenzív vállalkozások jelenléte a meghatározó. Ezért fontos olyan működési terek létrehozása, amelyek alkalmasak arra, hogy az ipari, a kutatóintézeti, egyetemi együttműködések a konkrét ipari és fejlesztési igényekre, problémákra legyenek képesek célzott válaszokat adni. A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ ezen felül összekapcsolja a duális és gyakornoki képzési programokat konkrét ipari fejlesztésekkel, lehetőséget teremtve nemcsak a térségben elhelyezkedni kívánó fiatalok, de a műszaki képzésben érintett intézmények számára is. A központ olyan kutatási, innovációs és oktatási környezetet valósít meg, ahol elsődleges a gyakorlati kimenetek és a gyakorlati tudás megalapozása, a gazdasági, ipari igényeket kielégítő fejlesztések bővítése és a hozzáadott értéket teremtő kutatások.

Ebben az innovációs ökoszisztémában, a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központban, a tudományos és innovációs park programban és a folyó kutatás-fejlesztési tevékenységekben is meghatározó a Széchenyi István Egyetem szerepe és jelenléte. A Járműipari Kutatóközpont, valamint annak Zalaegerszegen működő és fejlődő egysége nemcsak szerves része, hanem alakítója a ZalaZONE környezetnek.

2. A ZalaZONE, mint értékvezérelt koncepció

A ZalaZONE Tudományos és Innovációs Park szakmai fókuszában a járműipar és az ehhez kapcsolódó fejlesztések, tesztelések és gyártáshoz kapcsolódó technológiák állnak – járműtechnológia, mechatronika, szimulációs-kommunikációs technológiák, tervezés és konstrukció, ipari gyártástechnológia kompetenciaterületekkel. A zalaegerszegi Tudományos és Innovációs Parkban a járműipari tesztpálya jelenti a park fejlődésének megindító infrastruktúráját, a már működő ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ pedig a tudásalapú fejlesztések gyújtópontját. A cél egy tudásalapú struktúra felépítése, amelyben olyan kompetenciákat állítunk fel, amelyek alkalmasak mind az ipari igények, mind a kutatási-tudományos elvárások kielégítésére. Ebben az innovációs ökoszisztémában az ipari szereplők, egyetemek és kutatóintézetek helyben működő és távoli egységei adják a rendszer alapját képező tudásbázist.

A koncepció (lásd 1. ábra) a már részeiben működő tudományos és innovációs parki struktúra hiányzó elemeit szervezi egységes rendszerre, a diverzifikált, ugyanakkor rendszerszinten egymást kiegészítő, komplementer elemeken keresztül:

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



1. ábra. A ZalaZONE Tudományos és Technológiai Park hat pillére

A Széchenyi István Egyetem ZalaZONE kutatóközpontban működő egysége, valamint az egyetem háttértevékenységei a tudományos és innovációs park mind a hat eleméhez kapcsolódnak.

3. A technológiai átalakulás, mint lehetőség

Globális szinten a világgazdaságban napjainkban jelentős változások mennek végbe a technológiák rohamos fejlődése mellett. A fejlesztési ciklusok lerövidülnek, még inkább előtérbe kerülnek az integrált megoldások, komplex folyamatok és a kollaboratív megközelítések. Bár a ma is érzékelhető technológiai trendek folytatódnak az újabb és újabb technológiai innovációk megjelenésével, az előrejelzések szerint nem számíthatunk trendváltás jelenségére. Ennek magyarázata abban rejlik, hogy egy új domináns technológia nem feltétlenül váltja fel a jelen technológiát, ehelyett alakítja és összerendeli azt, így továbbiakban ráépülve folytatódik a technológia állandó fejlődése.

A járműipar és mobilitás területén új technológiákat fejlesztettek ki a járművek autonómiaszintjének növelése érdekében, amelynek eredményeként a fejlett vezetői segédrendszerek (ADAS) egyre nagyobb köre jött létre. Az olyan alkalmazások, mint az adaptív sebességtartó automatika (ACC), a fejlett vészfékező rendszer (AEBS) és a sávkezelési segédprogram (LKA) már elérhetőek a legtöbb járműben. Jól látható, hogy az ADAS rendszerek köre egy nagyon intenzíven fejlődő terület a hagyományos járművek és a teljes önvezető megoldások között.

A tesztekhez szükséges infrastruktúra fejlesztése mindezekből eredően pedig folyamatosan kell kövesse a termékfejlesztéseket és a tesztelési módszerek fejlődését. Az autonóm járművek tesztelési módjára még nem áll rendelkezésre egységes és elfogadott módszer. Tesztelésük sokkal komplexebb a hagyományos járművekével szemben. Nemcsak fel kell tudni mérni az járműipari fejlesztők által elvárt tesztelési igényeket, érteni kell azon rendszereket, amelyek érzékelik a környezetet, majd információval látják el a járműveket, ezáltal befolyásolva a

manővereket. Továbbá, fontos kérdés, hogy miként lehet biztosan állítani, hogy a jármű a tesztesetnek megfelelően hajtja végre a manővert a sokadik alkalommal is.

A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ szereplői és együttműködő köre ezért célzottan készül az ADAS rendszerek eszközeinek jármű szintű tesztelésére, valamint az ehhez kapcsolódó szimulációs és valós környezeti esetek készségszintű kezelésére. A ZalaZONE tesztpálya környezete alkalmas mind a dinamikus tesztek kielégítésére, mind az ADAS és a magas szinten önvezető tesztek megvalósítására. Az épülő és fejlődő laborkörnyezetben olyan kompetenciák fejlesztése folyik, amelyek segítenek lerövidíteni a tesztelés idejét és hatékonyabbá tenni a tesztelése, vagy akár közvetlenül nyújtanak értéket a fejlesztő cégek számára.

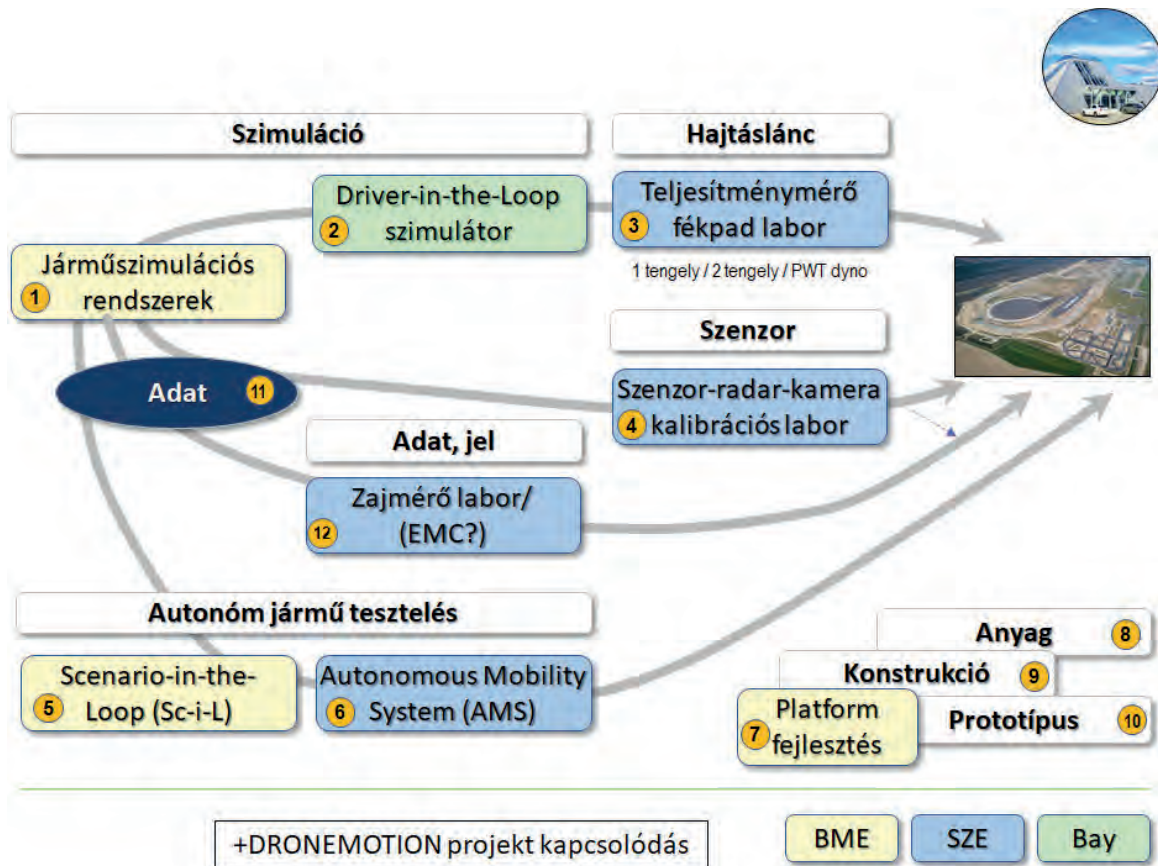
4. A SZE JKK ZalaZONE szolgáltatási rendszere

A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központban a különböző kompetencia alapú területek együttes építése történik, amelyek így nemcsak hozzájárulnak a járműszintű tesztelésekhez, de integrált szolgáltatási rendszerként, egyedülálló portfólióval, a szinergikus értékteremtés lehetőségét kínálják.

A tesztek koncepcionális előkészítését és elemzését a szimulációs szoftverek segítik. a különböző tesztesetek validálhatók a különböző szimulációs szoftverekben, ahol paraméterezzhető maga a környezet és a jármű is. A szolgáltatási lánc következő eleme a Driver-in-the-Loop szimulátor, amely már emberi tényezővel, bizonyos hardveres környezettel is kiegészül és az adott teszt koncepció vezetési próbájaként működik. A szimulációs megoldások későbbiekben mesterséges intelligencia segítségével még tovább fejleszthetők, hiszen az adott teszt scenárió több alkalommal újrajátszható változtatható paraméterekkel így a jármű viselkedése megfigyelhető és elemezhető.

Az autonóm jármű fejlesztések mellett egyre inkább fókuszban vannak az elektromos jármű fejlesztések is, részben azonos, részben eltérő sajátosságokkal. Ezen irányok újabb vizsgálandó területeket vetnek fel, mint például a jármű akusztikai vizsgálatok, hiszen az elektromos járművek esetében az alacsonyabb motorzaj által a különböző mechanikai berendezések zajhatása zavaró lehet a vezető és az utasok számára. A következő szinten már fizikai környezet értelmezése és fejlesztése a cél, amely segíti az autonóm rendszerek módszeres tesztelését. A cél nemcsak az intelligens környezet kiépítése, amelyben különböző teszt scenáriók valósíthatók meg, de a pályatesztek előtt és után is vizsgálni lehet a különféle érzékelőket (radar, szenzor, lidar, kamera), ugyanis ezek pontos beállítása elengedhetetlen. A járművek teszteléséhez a statikus környezeti elemeken és hálózati megoldásokon kívül szükség van dinamikus elemekre is. Ezekhez fejlesztés alatt állnak különböző dummy bábuk, azok mozgató platformjai, valamint további akadály-elemek.

A szolgáltatási portfólió áttekintését lásd a 2. ábra.



2. ábra. A ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központ szolgáltatási portfóliója

Ezen rendszereknek és kompetenciáknak az összekapcsolása újfajta, magas szintű értékláncot képvisel, ugyanakkor a kompetenciák megalapozása egyetemi-ipari együttműködés eredményeként történik meg. Összefoglalva elmondható, hogy a ZalaZONE ökoszisztéma ezáltal a különböző élenjáró ipari technológiákra és az ezeken alapuló vevői igényekre épít.

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.

Az Innovációs És Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program doktori hallgatói ösztöndíj programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési És Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- Alastair H. Fitter (2013): Are Ecosystem Services Replaceable by Technology?
- R. Landry et. al (2013): Technology transfer organizations: Services and business models
- P. K. Senyo et. al (2019): Digital business ecosystem: Literature review and a framework for future research
- C. Yujun et. al (2017): Technology Acceptance Modeling based on User Experience for Autonomous Vehicles

A jármű mérések lehetőségei a ZalaZONE tesztelési és kutatási környezetben

Vehicle measurement opportunities in ZalaZONE testing and research environment

Peszleg Richárd^a, Pekk Leticia^b, Dr. Hány András^c

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE
peszleg.richard@sze.hu

^bZalaegerszegi Technológiai Centrum
leticia.pekk@tc.org.hu

^cZalaZONE Ipari Park Zrt.
andras.hary@apnb.hu

Absztrakt: A cikk különböző hajtásláncok vizsgálati lehetőségeit hivatott bemutatni, mely kutatás a ZalaZONE Kutatási és Technológiai Központban zajlik. Ismerteti a jármű méréssel kapcsolatos kihívásokat és megkülönbözteti a görgős padon elvégezhető mérések tulajdonságait. Ugyanakkor bemutatja tesztpálya környezetben végzett mérési teszteredményeket is. Kiemeli a hibrid hajtáslánc kalibrálási nehézségeit. Végül kitekintést ad a jövőbe mutató technológiai irányoknak, mint a digitális iker modell alkalmazási lehetőségeit.

Kulcsszavak: teljesítménymérő pad, görgős pad, digital twin, CAN

Abstract: The article is intended to present the research possibilities of different drive chains, which is carried out at the ZalaZONE Research and Technology Center. Describes the measurement challenges of a vehicle and distinguishes the properties of measurements that can be made on a „roller bench”. However, it also presents test results from measurements performed in a test track environment. Highlights hybrid drive chain calibration difficulties. Finally, it provides an overview of future technological directions such as the application possibilities of the digital twin model.

Keywords: hubdyno, chassis dyno, digital twin, CAN

1. Bevezetés

Jelen kutatás témájaként megjelölt járműmérések elsősorban a személyautókra fókuszálnak. A fejlesztési fázistól az időszakos műszaki vizsgáztatásig egy járművön különböző méréseket végeznek. A vizsgálatok, az eszközök, ahogyan a vizsgálat helyszínei is, sokrétűek. A hibakereső, diagnosztizáló mérésektől eltekintve, szinte minden esetben a lényeg; a jármű a mérések során közel úgy üzemeljen, mintha valós használatban lenne. Ezt kétféle módon lehet elérni, vagy ténylegesen a szabadban járattjuk a járművet, vagy fékgépek segítségével vezetjük el a kerekeken, tengelyeken leadott teljesítményt.

A járművek mérőpadokon történő vizsgálatainak eszközét a köznyelvben gyakran 'fékpad'-ként emlegetjük. Fontos azonban különbséget tenni ezen berendezések között, mert az adott kifejezésbe több eszköz is beletartozik.

Elsőként a fékhatás mérésére alkalmas görgős padokat szoktuk fékpad alatt érteni, mivel ez az eszköz az, amivel műszaki vizsgákon is találkozhatunk, és a járművek fékrendszerét lehet vele vizsgálni. Ezzel ellentétben a többi mérőberendezés, mely hasonlóan fékpad névvel említett, nem a jármű fékeit vizsgálja, hanem a hajtását fékezi, kivéve a hideg üzemű motorfékpadokat. Motorfejlesztésben és kalibrálásban használt eszköz a motorfékpad. Ebből is van több típus, melyeknek más a használati módja, de ezekre jelen dokumentum nem tér ki. A lényegük, hogy maga az erőforrás (motor) kimenő tengelye van csatlakoztatva a teljesítmény mérésére alkalmas gépre. Másik legismertebb fékpad a teljesítménymérő görgős pad, amely a motoroptimalizálási vizsgálatok esetén használatos eszköz. Ebben az esetben a jármű kerekei a mérőpad görgőit hajtják, azok pedig valamilyen fékgépre vannak kapcsolva, amik átalakítják a felvett teljesítményt. Kevésbé ismert, de itt megemlítendő mérőeszköz a keréktengelyre szerelhető fékgépekből álló rendszer, mely a teljesítménymérő görgős pad és a motorfékpad keverékének mondható. Ez a fejlesztés alatt álló hajtásláncok, járművek fő vizsgálóeszköze. A jármű kerekei helyére fékgépek vannak csatlakoztatva, ezzel a gumiabroncs, ami jelen helyzetben rezgésszigetelő és veszteségtermelő elemnek mondható, kikerül a mérési láncból, így a hajtáslánc és a teljesítménymérő gép között közvetlen kapcsolat jöhet létre.

2. Mérési kihívások

2.1. Szimuláció, labor mérés és a valóság

A vizsgálati eljárásokat három csoportba osztályozhatóak. Legköltséghatékonyabbak a szimulációs vizsgálatok, azonban a valódi tesztek megismételhetősége/reprodukálása miatt szükség van a labor körülmények közötti mérésekre is, végül a valós úton történő vizsgálatok pedig a végső elemei a járműfejlesztésnek. A szimulációs fejlesztéseket főként a gyorsaságuk és megismételhetőségük indokolja, a fizikai megvalósítás nélkülözése mellett. Ha egy programban helyesen van felépítve a jármű erőforrása vagy hajtáslánca, akkor bármilyen paraméter változtatásának hatását pontosan lehet követni. Legyen szó a feltöltő nyomás növeléséről, vagy a váltó áttételének módosításáról, a teljesítményre vagy fogyasztásra való hatásuk egyértelműen kimutatható lesz. Ezekben a szimulációkban a legnagyobb kihívást a modell pontos felépítése jelenti. Ha van bármilyen paraméter, ami hatással lenne a kimenő adatokra, de nem került számításba, akkor *fals*, azaz nem megfelelő értékeket kaphatunk. Minden szimulációnál figyelembe kell venni, hogy tökéletesen valós modellt nem lehet felépíteni, mindig lehet olyan befolyásoló tényező, ami hatással van az eredményekre. Emiatt szükségesek a labor környezetben történő vizsgálatok.

A hajtáslánc elemek vagy teljes járművek zárt műhelyben megvalósított mérésekor fizikailag rendelkezésre áll a tesztelni kívánt eszköz, ilyenkor csak az üzemi körülményeket kell szimulálni. Ezek lehetnek környezeti paraméterek, mint a hőmérséklet vagy akár az eszközt ért rezgések. Legtöbb esetben biztosítani kell a vizsgálat alatt álló berendezés kihajtásán a fékező nyomatékok. Görgős teljesítménymérő pad esetében, a jármű kerekein leadott teljesítményt kell elvezetni. A mérések megismételhetőségének pontossága elsősorban a szimulált környezeti hatásokon múlik, így ha azok pontos beállításra kerülnek, akkor a legkisebb változtatásoknak

is lesz mérhető hatása. A valós környezetben kivitelezett mérések mégis elengedhetetlenek, mivel labor körülmények között is lehetnek olyan tényezők, amikkel nem lehetett számolni. Tehát a fejlesztések végén mindenképp a valódi környezetben kell teljesítenie egy autónak az elvárt paramétereket. A közúti mérések alapján felvehetőek a menetellenállások és környezeti hatások, amelyekkel a laborban a teljesítménymérő padokat felparaméterezve lehet tesztelni az adott járművet. A labor mérésekből felvett értékeket be lehet vinni szimulációs szoftverekbe, ahol korlátok nélkül lehet változtatni rajtuk, és vizsgálni a hatásaikat.

2.2. Fékpadi mérhetőség

Különböző hajtásláncok vizsgálatához a célszerű mérőeszköz is különböző lehet. Jelen esetben csak teljes személygépjárművek méréséről lesz szó. Elsősorban a fékgépek fajtája határozza meg hogy milyen erőforrással rendelkező járműveket, milyen szinten lehet vele mérni. Két nagy csoportra oszthatjuk a hajtásláncokat. Hagyományos, belsőégésű motorral hajtottakra, és villanymotorral rendelkezőkre. Lényeges különbség a két erőforrás között a nyomatékkarakterisztikájuk, a belsőégésű motorok alapjárata, és az elektromos motorok generátor üzemmódja. A motor nyomaték és teljesítménygörbéjének mérése szempontjából eltérés, hogy a belsőégésű motorral szerelt járművek rendelkeznek nyomatékváltóval. A villanymotoros hajtásláncoknál általában nincs változtatható áttétel a motor és kerekek között.

A kritikus rész az alsó sebességtartomány, mivel a villanymotorok már nulla sebességtől kezdve le tudják adni a maximum nyomatékot, míg hagyományos járműnél általában 40 km/h környékén kezdődik a mérés, amikor még közelében sincs a motor a maximum nyomatékának. Leggyakrabban örvényáramú fékgépeket alkalmaznak, ami működéséből adódóan csak a fordulatszám növekedésével tudja növelni a fékező nyomatékot. Ilyen fékgépekkel rendelkező mérőpadok nem képesek egy elektromos hajtás teljes karakterisztikájának mérésére.

Elektromos motorok mérésére a modern fékgépek közül csak a villamos gépek alkalmasak, amik viszont lényegesen drágábbak örvényáramú társaikhoz képest. A villamos gépek alkalmazása fékgépekként amiatt is fontos, mivel a hibridek és elektromos járművek képesek regeneratív fékezésre. A járművet teljesítménymérő görgős padon, regeneratív üzemmódban kétféleképpen lehet vizsgálni. Menetciklus mérésnél elegendő, ha megfelelő tömegű lendkerék egység van a mérőpadon, viszont ennek hiányában, vagy kifejezetten a jármű generátor üzemmódjának vizsgálatánál szükséges az örvényáramú fékgép mellett vagy helyett a villamos fékgép.

2.3. Emisszióhatárok

A személyautók vizsgálatának egyik fő kihívása az emissziómérés, vagyis a kipufogógáz összetételének a vizsgálata. A belsőégésű motorral szerelt járműveknek szabványos menetciklus alatt teljesíteniük kell a hatályban lévő kibocsátási normát. Az egyik nehézség jelenleg, hogy az erőforrások teljesítménysűrűsége mellett be tudják tartani a kibocsátott károsanyag koncentrációkra vonatkozó határértékeket. Ennek teljesítéséhez fejlesztik a keverékképzést és a kipufogógáz utánkezelő rendszereket is. Az egyre szigorodó normákban viszont már olyan alacsony károsanyag határértékek vannak megszabva, amiknek a mérése is

kihívást jelent. Főként ilyen az RDE vizsgálat, amikor a jármű közúton közlekedik, és közben kell vizsgálni a kipufogógáz összetételét.

2.4. Hibrid kalibráció

A belsőégésű motorok kalibrációja általában motorfékpadon történik, ahol a terhelés és a fordulatszám függvényében beállítják a motor üzemi paramétereit, szem előtt tartva az üzemanyag fogyasztást, emissziót és a maximális teljesítményt. Villanymotornál is hasonló a struktúra. Természetesen nem ennyire egyszerű a beállítás, az alkatrészek hőmérséklete, az üzemi paraméterek visszacsatolása mind hatással van az erőforrás pillanatnyi teljesítmény leadására. Egy hibrid rendszernél viszont még bonyolultabb a helyzet. A két erőforrást össze kell hangolni a jelenlegi teljesítményigény kielégítéséhez. A hibrid rendszer kalibrációjánál a három fő egység a belsőégésű motor, a villanymotor és az akkumulátor. Hajtáslánc kalibráló tesztknél gyakran nincs jelen fizikailag mindhárom eszköz. A belsőégésű motort bonyolult üzemeltetése helyett villanymotornal helyettesíthetik, az akkumulátort emulátorral, a villanymotor teljesítményét pedig akár a fékgép megváltoztatott paramétereivel is lehet szimulálni.

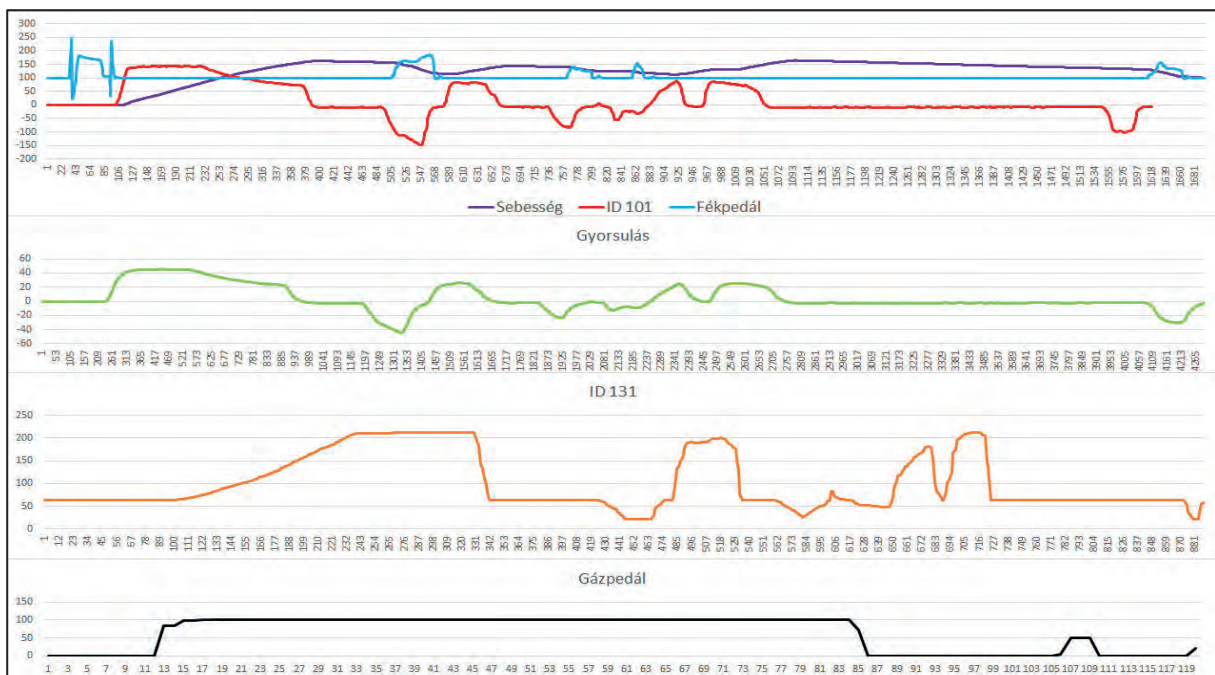
A hibrid rendszerek az üzemanyag fogyasztást és a károsanyag kibocsátást hivatottak csökkenteni, viszont ezt csak az erőforrások megfelelő összehangolásával lehet elérni. A szabványos menetciklushoz, a WLTP-hez az összehangolt rendszert úgy kell vezérelni, hogy az ettől különböző használat során is megfelelően működjön. Azoknál a hibrideknél ahol a belsőégésű motor egyes üzemállapotokban lekapcsolásra kerül, fontos figyelembe venni a katalizátor működési hőmérsékletét. Ezek a kipufogógáz utókezelő rendszerek, csak bemelegedett állapotban tudják az elvárt gázreakciókat teljesíteni. Erre megoldás a katalizátor fűtése vagy a belsőégésű motor jól tervezett üzemeltetése. Az akkumulátor menedzsmentre nagy figyelem fordul, mivel a cél az, hogy minél több teljesítményt a villanymotor tudjon leadni, de folyamatos, nagy nyomatékigényeknél rendelkezésre álljon elegendő energiatartalék. Ehhez szükséges folyamatosan figyelni az egységek üzemi paramétereit, egyes esetekben még a vezető szokásait is.

3. Eredmények

3.1. Jármű adatainak olvasása

A projektünk egyik fő célja, hogy megfelelően tudjunk adatokat kinyerni a teszt alatt álló járműből. A modern személyautók rengeteg szenzort tartalmaznak, így sokszor nem szükséges külön mérőegységeket beépíteni, hiszen a jármű is monitorozza saját funkcióit. Amilyen paramétert figyel az adott autó, azt valamilyen módon ki is lehet nyerni. Legegyszerűbb módon az OBD csatlakozón keresztül lehetséges hozzáférni a járművek kommunikációs hálózatához. Ehhez viszont szükség van egy olyan hardverre, például egy ELM327-es olvasóra, amely fel tudja ismerni, hogy melyik kommunikációs hálózaton keresztül küld ki adatot a jármű vezérlése a csatlakozón keresztül, és valamilyen kérő üzenetet kell küldenie a vezérlő felé, hogy a szabványos adatok olvashatók legyenek.

Kihívást jelent az adatforgalom sebessége, méréseink során 1 másodpercenként frissült egy-egy paraméter értéke. A modern személyautók általában CAN hálózaton kommunikálnak, ezért vizsgálataink is ez irányban folytak. Egy kiválasztott járművön be volt vezetve a CAN vezeték az OBD csatlakozóba, ezáltal lehetséges volt közvetlenül rácsatlakozni a hálózatra, amelyhez egy Arduino-s CAN-Serial átalakítót használtunk. A megjelenített adatok között viszont első keresésre nem sikerült találni OBDII szabványúakat, azok valószínűleg másik kommunikációs hálózaton voltak kivezetve a csatlakozóra. A későbbiekben lehetőségünk nyílt egy olyan CAN olvasót használni, amivel roncsolásmentesen lehet a két CAN szálon futó adatokat olvasni. Tesztautóként egy VW e-Golf-ot használtunk. Álló helyzetben és menet közben figyeltük az adatok változását, így sikerült dekódolnunk több paramétert is, köztük a gázpedál állást, a kerekek fordulatszámát, a kormányszöveget és néhány menetiránnyal és váltóállással kapcsolatos adatot.



1. ábra Dekódolt paraméterek görbéje

A fékpedálnál bonyolultabb a helyzet az elektromos hajtáslánc miatt, mivel nem csak az üzemi fék lassít, hanem a villanymotor visszatermelése is. A kapott adat viszont a hidraulikus fékrendszer nyomására ad visszajelzést.

3.2. CAN adatok olvasása

A CAN adatokat .dbc típusú fájlal dekódoltuk, viszont ugyanazon ID-n érkező adatokból ugyanazt a byte-t nem lehet vele kétféle módon dekódolni. Így például a kormányszöveget, melynél jobbra az egyik bit 8-as, balra pedig 0-ás értékeket vesz fel, nem lehet egyetlen képlettel megfelelően kezelni. Megoldásként Matlab Simulink-et célszerű használni, melyben ugyanúgy lehet dekódolni az adatokat, viszont kiíratás előtt még lehet logikai függvényekkel változtatni az értékeket. A Simulink másfelől azért is hasznos, mivel jármű szimulációs programmal ezen az interfészen keresztül lehet kommunikálni.

3.3. IPG alapú irányítás

Az élő adatok bevitelét a Simulink szoftverbe azzal kezdtük, hogy egy gyorsulásszenzor kimenő értékeit olvastuk valós időben a programmal. A szenzor adatainak átvitelénél vesztettünk egy tizedes jegyet, mivel a szenzor által küldött adatok formátumát csak így tudta beolvasni a Simulink. Számunkra akkor ez nem is volt lényeges, mivel arra fókuszáltunk, hogy ezt az értéket továbbítsuk járműszimulációs program felé. A szenzort, mint egy botkormányt lehetett használni, y tengelyen való forgatással a gáz és fékpedál állást lehetett szabályozni, x tengelyen forgatással pedig a kormányzógot. Az adatokat egy már elkészített Simulink modell alapján lehetett valós időben bevinni a szimulációs szoftverbe, amit eredetileg egy számítógéphez köthető kormány és pedál szetthez készítettek. Ezzel valós időben sikerült irányítani a szimulációs járművet, a gyorsulásszenzor mért értékei alapján. Ezen téma széleskörű lehetőségeket rejt, ezért további kutatásaink tárgyát fogja képezni.

4. A vizsgálatok és a kutatások folytatása

4.1. Digitális iker

A CAN hálózatról való adatbeolvasás és a szimulációs jármű valós idejű irányításával készíthető a tesztjárműről egy digitális iker modell. A jármű szenzoraiból érkező hexadecimális adatokat Matlab-ban dekódoljuk, majd azokat továbbítjuk a szimulációs szoftverbe, ahol egy megfelelően felparaméterezett modell ugyanazt a mozgást fogja végezni, mint a valóságban a tesztjármű. Ehhez legalább három beérkező paraméterre van szükség. A gázpedál, fékpedál és kormány pozíciójára. A gázpedál állása alapján meg kell határozni, hogy mekkora gyorsító teljesítménnyel hajt az autó, a féknyomás alapján a lassítás mértékét, a kormányzóg alapján pedig a csúszás nélküli fordulókört. Ezeknek a paramétereknek a meghatározása sok mérést, és a CAN adatok dekódolását igényli.

A kormányzóg 0-pozíciójában a mérések alapján, az autó nem tökéletesen egyenesen halad. Ezeket az eltéréseket és azt, hogy a beérkezett adatok alapján milyen mértékben gyorsítson vagy lassítson a modell, mind a járműszimulációs programban kell meghatározni. A jármű által küldött adatok alapján tehát fel kell mérni, hogy adott állapotokban éppen hogyan viselkedik a valós jármű. Az adatokat továbbítani kell a szimulációs programba, és ott felparaméterezni a modellt, hogy ugyanazon adatokra a valósághoz hasonlóan működjön a járműmodell. Ha ez megfelelő pontossággal sikerül, akkor az autó tényleges használata nélkül, szimulációban elvégzett tesztek reprezentálni fogják a valós használatot.

4.2. Fékpad validáció

A tervezett járműmérő berendezések, mint a görgős teljesítménymérő pad, a jármű valós használatát hivatott reprezentálni. Azonban lehetnek olyan járműre ható ellenállások, amiket nem lehet számításokkal pontosan meghatározni. Így, ha egy járművet a görgős padon teljes gázpedál állással gyorsítunk, és a járműre ható lassító erőt kiszámolva fékezzük a görgőket, feltehetően akkor sem ugyanannyi idő alatt gyorsul fel adott sebességre, mintha valós környezetben az úton történne ugyanez a gyorsítás. A nehezen meghatározható paraméterek egyike a légellenállás. Az autó homlokfelületéből ki lehet számolni egy közelítő értéket, viszont pontos értékeket csak méréssel lehet kapni.

A tesztpályán végzett vizsgálatokból lehet majd számolni menetellenállást, amelynek részeként a légellenállás is beleszámít. Ebben az esetben a járműre ható lassító erőket nem lehet külön megmérni, viszont az ellenállások összegét igen, amely alapján már meghatározható a görgős pad fékező karakterisztikája. Megfelelő pontosságú mérésekkel el lehet majd érni, hogy a tesztjármű a görgős teljesítménymérő padon is ugyanakkora kerékgyorsulásokat érjen el adott gázpedál állásoknál, mint valós környezetben.

4.3. Kapcsolódó projektek támogatása

A járműmérési kompetenciákkal a kutatócsoport célja támogatni a többi projektet is. Ahol nem a jármű paraméterei a lényegesek, hanem például egy akadály mérése, de a tesztek kiértékeléséhez szükség van az autó adataira, mint például a sebesség, gyorsulás vagy kormányaszög értékére, az előző részekben bemutatott mérések és jármű vizsgálatok hasznos információkat szolgáltathatnak.

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

- Bronislaw Kolator, Michal Janulin: Methodology for measuring car traction parameters, 2018
- RobertoAliandro Varella, Barouch Giechaskiel, Luis Sousa, Goncalo Duarte: Comparison of Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) with Laboratory Grade Equipment, 2018
- Reinhard Merl, Arno Huss, Christian Jung, Kurt Klumaier: Development Hybrid Vehicles: Innovative Solutions for the Calibration of Hybrid Drivers
- Dr. Lakatos István Ph.D.: OBD, EOBD (fedélzeti diagnosztika): 5. Kipufogógáz-technika és fedélzeti állapotfelügyelet, 6. Az OBD-csatlakozó, 7. Irányítóegység diagnosztika az OBD-csatlakozón keresztül
- Absorber Comparison: <https://dynamitedyno.com/tech-corner/absorber-comparison/>
- Teljesítménymérés I: Teljesítménymérő padokról általánosságban: http://www.dp-automotive.hu/dpa_teljesitmeny_1.html
- Teljesítménymérés II: A mérés fizikai háttere és a mérés végrehajtása: http://www.dp-automotive.hu/dpa_teljesitmeny_2.html

Az Autonóm Mobilitási Környezet (AMS) tesztelési koncepció

Autonomous Mobility System testing concept

Tóth Gábor^a, Pekk Leticia^b, Dr. Hány András^c

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE
toth.gabor.laszlo@sze.hu

^bZalaegerszegi Technológiai Centrum
leticia.pekk@tc.org.hu

^cZalaZONE Ipari Park Zrt.
andras.hary@apnb.hu

Absztrakt: Az autonóm járművek validálási eljárásai során nem csak a rendszerlemeinek tesztjeire kell ügyelni, hanem különböző környezeti elemekre is nagy hangsúlyt kell fektetni. Számos ilyen tényező befolyásolja a vezetéstámogató (ADAS) rendszerek pontosságát. A statikus tesztekhez különféle infrastruktúra elemek biztosítására (mozdulatlan tesztbábu is ideértendő) van szükség, a dinamikus teszthelyzetekhez pedig mozgó teszt bábukra (gyalogos dummy, jármű dummy). Emellett, a V2X (jármű kommunikáció) kommunikációs hálózatot is biztosítani kell. A cikk ezeket a területeket hivatott bemutatni, továbbá tesztpálya környezetben elvégzett mérés részleteit is ismerteti.

Kulcsszavak: ADAS, autonóm jármű, tesztkörnyezet, V2X

Abstract: In the validation procedures for autonomous vehicles, attention must be paid not only to the testing of its constituents, but also to the various environmental elements. Many of these factors affect the accuracy of ADAS systems. Static tests require the provision of various infrastructure elements (unmoving dummies are also included), and dynamic test situations require moving test pieces (pedestrian dummy, vehicle dummy). In addition, a V2X (vehicle communication) communication network must be provided. The article is intended to present these areas, as well as details of measurements performed in a test track environment.

Keywords: ADAS, autonomous vehicle, test environment ,V2X

1. Bevezetés

Az AMS (Autonomous Mobility System) projekt az Önvezető Mobilitási Rendszerek kísérleti fejlesztésére és tesztjeire irányul. A projekt kezdeti célja egy, az autonóm és hálózatba kapcsolt járművek teszteléséhez szükséges tesztkörnyezet kidolgozása.

A járművek önvezető funkcióinak alapjaként tekinthetőek a mai járművekben már egyre jobban elterjedt fejlett vezetéstámogató rendszerek (ADAS), így a tesztesetek és a szükséges tesztkörnyezetek szempontjából is ezek jelentik a kiindulási pontot. A fejlett vezetéstámogató rendszerek alkalmazásának célja, a biztonságosabb és komfortosabb közlekedés elősegítése,

mely során a járművekbe épített támogató rendszerekkel bizonyos feladatok automatizálhatók, így csökkentve a vezetőre háruló feladatok száma. Általában a járműveket egyszerre több ilyen rendszerrel szerelik fel, a különböző funkciók ellátása érdekében és ezek egymás működését is támogathatják.

Fontosabb ADAS rendszerek, amelyek közül több is megtalálható manapság a legtöbb új járműben: Holttér-figyelő rendszer, Front Assist rendszer, Sávtartó asszisztens, Közlekedési torlódás asszisztens, amely az adaptív sebességszabályozás (ACC) és a sávtartó asszisztens rendszerek együttes alkalmazásán alapul, Távolsági fényszóró szabályozás, Kiállási asszisztens, Parkolási segéd, Vontatmány asszisztens, Közlekedési tábla felismerés.

Ahhoz, hogy az ADAS rendszerek „megállapíthassák” a beavatkozások és figyelmeztetések szükségességét, a járműnek észlelnie kell a környezetét és az ott meglévő veszélyforrásokat. A váratlan események pontos és időben történő észlelésével az automata rendszerek gyorsabban, rövidebb reakcióidővel képesek a szükséges intézkedéseket végrehajtani, mint maga a vezető. Tehát az asszisztensrendszerek működésének a kulcsa a jármű külső és belső környezetének folyamatos figyelése és elemzése. A jármű fedélzetén elhelyezett különböző szenzorokból érkező információk alapján képes a rendszer a különböző helyzeteket felismerni. A járművek „látásáért” felelős legfontosabb eszközök a radar, lidar, kamerák és ultrahang szenzorok.

Az ADAS rendszerek tesztelése során a szenzorok által észlelt akadályokra adott reakciókat vizsgáljuk, ilyen tesztek elvégezhetők laborban, vagy valós környezetben. Labor környezetben például a járművet görgős fékpadon helyezik el és Target szimulátort használnak a radarérzékelők tesztelésére.

A valós környezetben végzett tesztek elvégzésénél van szükségünk zárt, kontrollált tesztpályákra, ahol az elvégzendő vizsgálatok követelményeit különböző tesztprotokollok írják le. A valós tesztek akadályaként általában gyalogost, kerékpárost, vagy járművet helyettesítő tesztbábukat hasznunk, amelyek adott pályán haladhatnak és észlelési tulajdonságaikban megegyeznek valódi megfelelőjükkel. Az adott tesztet megvalósítására vonatkozó protokollok leírják az ún. dummy bábuk követelményeit, a teszt körülményeket, a tesztútvonalat, az időjárási körülményeket, a tesztkörnyezet követelményeit, a jármű előkészítését: gumiabroncsok, járműkalibrálás, jármű bemelegítés, fékrendszer. Emellett a tesztek elvégzése előtt a teszt alanyaként szolgáló jármű fedélzeti szenzorjait kalibrálni kell, ehhez pedig kalibrációs laborra is szükség van. Kutatásunk során tanulmányoztuk az eddig elérhető és kidolgozott protokollokat, amelyek közül is a legelőrehaladottabbak az EuroNCAP automata vészfékező és sávtartó rendszerek tesztelését leíró dokumentumai.

2. Járműkommunikációs technológiák

Kutatásunk másik fontos irányvonala a járműkommunikációs technológiák, mivel az ADAS rendszerek és önvezető funkciók fejlesztése mellett fontos kutatási terület a járművek kommunikációs hálózatba kapcsolása. Az előbbieken említett vezetőtámogató rendszerek alapja, hogy a jármű a maga és környezetének valós idejű állapotáról minél több információt gyűjtson. Az így szerzett adatok megosztásával a forgalom résztvevői kölcsönösen segíthetik a közlekedés biztonságának és kommunikációs határfokának növelését. Erre megoldás a kooperatív járműkommunikáció (V2X – Vehicle to Anything), mely alacsony késleltetésű információcserét biztosít a járművek és más, hálózatba kapcsolódni képes eszköz között. A járművek kommunikálhatnak egymással (V2V – Vehicle to Vehicle), az infrastruktúra elemeivel (V2I – Vehicle to Infrastructure), vagy akár a gyalogosok mobil eszközeivel (V2P – Vehicle to Pedestrian). A kommunikáció megoldásának jelenleg két fő irányvonala a Dedikált

rövidtávú kommunikáció és a Celluláris V2X. A Dedikált rövidtávú kommunikáció (DSRC – Dedicated short-range communications) egy kisebb hatótávolságú, a jármű közvetlen környezetében használható Wi-Fi alapú technológia. A Celluláris V2X (C-V2X – Cellular V2X) egy mobilhálózat alapú kommunikáció, ezáltal magasabb adatátviteli sebesség érhető el.



1. ábra. A járműkommunikáció illusztrációja

A 2019 őszén bemutatott, nyolcadik generációs Volkswagen Golf modellek is képesek már ilyen kommunikációra. Ezek ún. We Connect rendszere az ITS-G5 technológiát használja, amely WiFi alapú és előnye, hogy ezen rádiófrekvenciás technológia számos helyen elérhető és elterjedt. Már több, mint 10 éve folytatnak erre irányuló tesztek és Európában több, mint 1000 km-nyi út van felszerelve WiFi alapú V2X technológiával, de ezek száma folyamatosan emelkedik.

Egy másik példa, a 2020-ban megjelent Ford Puma személygépjármű szériafelszereltségének része az LHI (Local Hazard Information), helyi veszély jelzés elnevezésű V2X-technológia, amely a fedélzeti mobilrendszeren segítségével küldi az információkat egy hálózatba kapcsolt felhőrendszeren keresztül. A tervek szerint az év végére az új Ford-személyautók több, mint 80%-ában megtalálható lesz az LHI technológia. A figyelmeztető jelzések küldése, jelenleg még a LTE mobil rádióhálózaton keresztül zajlik, de a Ford bejelentette, hogy amint rendelkezésre áll, az 5G-t is használni fogják erre a célra. Az előrébb haladó járművek automatikusan figyelmeztető jelzést küldhetnek az úton történt eseményekről és veszélyhelyzetekről a többi közeledő autós számára, ebbe beletartozhatnak például hirtelen fellépő torlódások, balesetek, kiömlött rakomány, vagy valamilyen természeti jelenség is, mint akár jégeső, áradás, vagy földcsuszamlás.

A járművek és a környező infrastruktúra közti kommunikációhoz szükség van a hálózat részét képező útmenti egységekre (RSU – Road-Side Unit). Az intelligens infrastruktúrák lényeges elemei a különböző „okos” eszközök és megoldások is, amelyek valamilyen innovatív megoldással törekszenek a közúti közlekedés biztonságosabbá és hatékonyabbá tételére. Így célunk volt a V2X kommunikációs eszközökön felül számos városi környezetben használható, különböző célra alkalmazható intelligens eszközökkel kapcsolatos ismeretek kutatása is, melyek később akár a tesztpálya moduljain is alkalmazhatóak. Számos különböző alkalmazásra létezik intelligens megoldás, az okos villanyoszlopokkal kezdve, az intelligens útburkolaton át az aktív, sebesség függvényében változó fekvőrendőrig.

3. Elvégzett vizsgálatok és mérések

A kapcsolódó kutatások során az adott témákhoz kapcsolódóan valós tesztek is végeztünk, amelyekre a tesztet megelőzően virtuális formában szimulációkat is készítettünk.

A fejlett vezetőtámogató rendszerek működésének megismerése céljából, kameraalapú objektum- és sávfelismerés tesztekét végeztünk a járműipari tesztpálya Smart City modulján. A funkció működésének vizsgálata mellett a tesztek célja volt a Smart City tesztelési lehetőségeinek feltérképezése is. A tesztek során egy többsávos útszakaszon különböző helyzeteket játszottunk le, kezdve egy jármű egyenes haladásával, majd két párhuzamos irányba haladó jármű sávváltásaival és előzéseivel.



2. ábra. Adatok „felvételét” célzó teszt a zalaegerszegi járműipari tesztpályán

A tesztjármű elején egy kamerát helyeztünk el, úgy, ahogy általában a gyári beépített eszköz elhelyezkedne. A tesztelési forgatókönyvek végrehajtása során felvételek készültek, majd a kiértékelésük során MATLAB Simulink interface segítségével, a járművek képfeldolgozását szimuláló kiegészítő alkalmazásokat használtunk. Ezek a videofelvételen automatikusan jelölik a felismert forgalmi sávokat és a többi járművet, amelyek távolságát is kiszámítják a kamerához képest.

A projekt előrehaladásával a projekt következő célkitűzése egy adott teszhelyzet felépítése, letesztelése és folyamatos működtetése. Ezt egy nagyobb adatbázis megalapozásának tervezzük, amelyet az egyszerűbb szituációk felől bővítünk az egyre komplexebbek felé, ahol már több egyidőben mozgó jármű és változó környezeti elemek szerepelnek. A helyzetek meghatározásához az elérhető protokollokat vettük alapul, de ezeket ki is bővítjük. Első esetként az Automata Vészfékező Rendszerek tesztelésére vonatkozó tesztelési forgatókönyvet dolgoztuk át, úgy, hogy a mozgó akadály (Dummy) helyett itt még statikus, egy pontban elhelyezett gyalogos bábút használunk. A dummy pályája alapján határoztunk meg fix pontokat, ahova a statikus bábút helyezük. Ezáltal egy teszhelyzetünkben megkülönböztetünk meghatározott alhelyzeteket a Dummy pozíciója alapján.



3. ábra. A gyalogos bábu a teszthelyzet adatfelvétele során

A továbbiakban az ilyen és ehhez hasonló statikus teszthelyzeteket dolgozzuk ki, majd ezeket bővítjük és alakítjuk át mozgó akadályokkal. Ezeknek a teszthejnek a fő célja, hogy az adott helyzeteket rutinszerűen működtetni tudjuk, valamint a megfelelően magas számú ismételt elvégzésükkel a fejlesztésekhez értékes adatokat gyűjtsünk, majd ezekből adatbázist építsünk.

Összeségében elmondható, hogy az autonóm jármű megvalósításáig a jelenlegi vezetéstámogató rendszerek tesztelése és működési validációja szükséges, amelyre számos zavaró tényező hat. Mindehhez szükséges különféle tesztkörnyezet felállítása és annak többszörös megismételhetősége, illetve a környezet változtatása. A járműnek mindig elfogadható reagálást kell nyújtani, viszont ehhez rengeteg „visszajátzás” szükséges. A kutatás iránya egy ilyen jellegű adatbázis létrehozása, amely elősegíti a rendszer validálását.

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

- European Commission MOBILITY AND TRANSPORT, Road Safety – ADAS https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/old/what_can_be_done_about_it/adas_en (2021.09.24.)
- EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP), TEST PROTOCOL–AEB systems
Version 2.0, March 2017
- EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP), TEST PROTOCOL – Lane Support Systems
Version 2.0, June 2017
- dynniq mobility, Volkswagen chooses ITS-G5 in new Golf <https://www.dynniqmobility.com/volkswagen-chooses-its-g5-in-new-golf/> (2021.09.24.)
- Autótechnika, A FORD BEVEZETI A V2X-TECHNOLÓGIA HELYIVESZÉLY JELZÉSÉT <https://autotechnika.hu/cikkek/egyeb/12997/a-ford-bevezeti-a-v2x-technologia-helyiveszely-jelzeset> (2021.09.24.)

Pályaépítő mobil robot prototípus fejlesztése

Development of Track Building Mobile Robot Prototype

Hajdu Csaba^a, Boros Norbert^b, Ballagi Áron^c

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

^bSzéchenyi István Egyetem, Matematika és Számítástudomány tanszék
boros.norbert@math.sze.hu

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

Absztrakt: A közlekedés karbantartási munkálatai számottevő része olyan monoton de nagyfokú precizitást igénylő feladatok, mint az útburkolati elemek felfestése vagy bóják elhelyezése. Ezek kivitelezése nemcsak ismétlődő és időigényes feladat, de az emberekre és tárgyi eszközökre egyaránt potenciálisan végzetesen veszélyesek. A cikkben bemutatott autonóm robotplatform célja ezen feladatok egy részének automatizálása. A robot egy differenciális mobil robot platform, amelyet egy antropomorf robotkarral egészítettünk ki. A robot feladatait autonóm módon valósítja meg, egy operátor felügyeletével. A modern robotikai követelményeknek megfelelően a robot szoftvere elosztott környezetben, Robot Operating System 2 keretrendszeren alapul. Az autonóm mobil robot elsődleges működési környezete a ZalaZone Járműipari Tesztpálya.

Kulcsszavak: mobil robotok, mozgástervezés, rendszertervezés, lokalizáció

Abstract: Traditionally transportation maintenance for the most part include monotonous tasks requiring high precision and accuracy. These tasks painting of lanes and placement of traffic cones. Work throughout these tasks is not only repetitive and time-demanding but also potentially fatal to people and potentially irreparable for devices alike. The autonomous mobile robot presented in this paper is an autonomous mobile robot platform, aimed to automatize a subset of these tasks. The moving platform is differential-drive base extended with an anthropomorphic manipulator. The robot carries out its tasks autonomously with the supervision of human actors. The software of the robot is designed according to modern requirements as a distributed system based on Robot Operating System 2. The primary operating environment of the autonomous mobile robot is the ZalaZone Automotive Proving Ground.

Keywords: mobile robots, motion planning, system design

1. Bevezetés

Az autonóm járművekhez köthető kutatások napjainkban egyre kiemeltebb támogatást és figyelmet kapnak. Az egyre széleskörűbb fejlesztésekkel párhuzamosan a robotika hagyományos ágazatai is hasonlóan egyre jobban előtérbe kerülnek. Egyes ágazatok és megvalósítások mellett egyértelmű az összefonódás: pl. észlelés esetében az objektumdetektálás roboton és autonóm járművön -bizonyos mértékű konfigurálást követően - hasonló módon használható, ahogyan egy nagy területen használt mozgástervező algoritmus is.

Emellett egyre újabb használati esetek esetén is megfigyelhető egyfajta összefonódás, amely például az autonóm járművek működését támogatja.

Egy ilyen lehetséges felhasználásra mutat be egy lehetséges alkalmazást jelen cikk is. Közlekedési munkálatok során gyakori feladat útburkolati jelek festése és bóják elhelyezése. Amellett, hogy ez a munka időigényes és monoton, ismétlődő munka, nagyon nagyfokú precizitást és pontosságot igényel, az embereket jelentősen megterheli. Ráadásul az ilyen munkák során a munkások nagyfokú veszélynek vannak kitéve, ami akár végzetes is lehet. Az útépitési munkák egy jelentős része felvetésünk szerint azonban automatizálható. A cikkben közölt kutatás célja egy ilyen robot megépítése, amely ezt a munkát a megfelelően pontosan hajtja végre, elsősorban terelőbóják elhelyezésére összpontosítva. Bár a fejlesztés számos részterület kutatásához adhat teret, a cikk az alap rendszertervezésre terjed ki, a szükséges komponensek azonosítására és legalapvetőbb folyamatok azonosítására.

2. Bójaszedő robot bemutatása

A robot megfogalmazott feladata, egy kinematikai állapotba eljutni és terelőbóják elhelyezése vagy felszedése. A mobilplatform egy átalakított Neobotix MP500 platform, kiegészítve a kültéri környezetben is alkalmazható megfelelő kiegészítésekkel. A robot kerekeit hajtó motorok a vezérlőegységnek kiküldött sebességreferenciák alapján vezérelhető. A mobilplatform alapvetően a következő szenzorokkal rendelkezik:

- Enkóderek, amelyek a robot egyes kerekeinek pozícióját és aktuális sebességét adja vissza (megfelelő áttétellel visszaosztva a kiolvasott impulzusértékeket). Ezeket az adatokat egy alsószintű kártya biztosítja (~relékártya).
- Biztonsági SICK S300 lézerszkenner, amellyel egy max. 210° látószögű síkban detektálhatóak környezeti jellemzők, ideális esetben 30 méteres, direkt napsütés esetén 4-5 méteres távolságban.
- Az aktuátor effektora (*tool*) kiegészült egy RGB-D kamerával (Intel RealSense D435 alapú), amellyel színes képfolyam adható vissza 20-30 Hz-es frissítéssel. A kamera segítségével (az integrált infravörös kamerával) távolsági adatok is detektálhatóak, ideális fényviszonyok mellett 10-15 méteres távolságban, direkt napsütésben 2,5-3 méteres távolságban.
- Kiegészítő szenzor még a helymeghatározásban használható RTK-képes GNSS szenzor, amely biztosítja a földrajzi szélességi és hosszúsági koordinátákat.

A platform teherbírása körülbelül 65 kg, üzemideje alapfelszerelésben 8 óra (tapasztalataink szerint ez körülbelül 5-6 óra kiegészítéseinkkel). A robot 12/24 V tápkimenetet szolgáltat a vezérlőkártyáján, szenzorokkal és aktuátorokkal való kiegészítéséért, amely felhasználható a későbbiekben tárgyalt robotmanipulátor tápellátására. A mobilplatform a gyári alacsony szintű vezérlőegység mellett egy általános célú számítógéppel is fel van szerelve a magasabb szintű feladatok – pl. észlelés, robotkar vezérlése – elvégzésére.

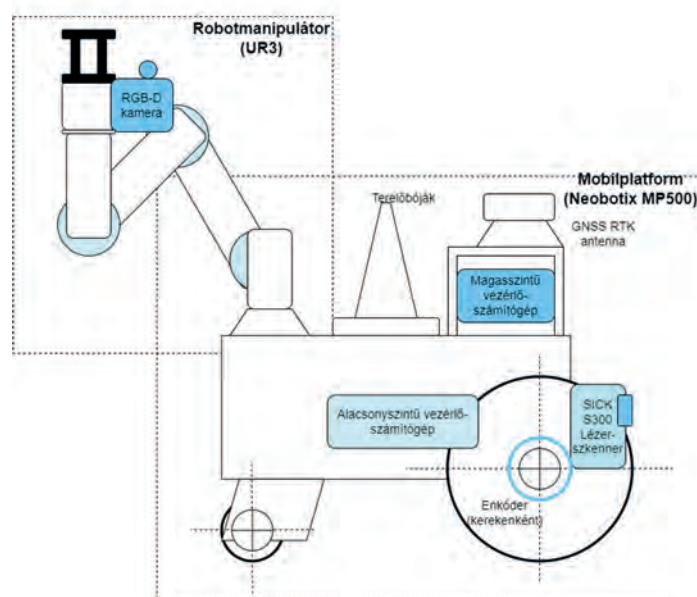
Az aktuátor szerepére hagyományosan és lekézenfekvőbb módon egy robotmanipulátor alkalmas. Hagyományosan a robotmanipulátorok azonban ipari környezetben való használatra optimalizáltak. Ennélfogva sajnos olyan tényezők, amelyek mobil használat esetén kedvezőek (pl. tömeg, áramfogyasztás) illetve nem szükségesek (nagyértékű gyorsulás) sokszor figyelmen kívül esnek a gyártók által. Az aktuátor kiválasztását azonban kiterjesztette, hogy a bójákat síkban kell elhelyezni, nem szükséges nagyfokú mozgékonyosság a térben. Ennélfogva SCARA és antropomorf (6-szabadságfokú) robotmanipulátorok egyaránt lehetőségként merültek fel. Ugyanakkor a szoftveres támogatottság fontos, hiszen a gyártó vagy felhasználói közösség által elérhető szoftveres keretrendszer megléte jelentősen gyorsítja a fejlesztést. Az iparban alapvetően elvárt, hogy még a kisebb robotkarok is a jelzőbójáknál nagyobb tömeget képesek legyenek mozgatni – egy tipikus 75 cm-es jelzőbója tömege legfeljebb 3 kg. A

különböző robotmanipulátorokat foglalja össze a 1. táblázat, figyelembe véve a mobilplatform összekötésének szempontjából. Jól látszik ebből a táblázatból, hogy a platform teherbírása bőven megfelelő, a legtöbb kisméretű robotmanipulátorral strukturálisan terhelhető.

1. táblázat: kisméretű ipari robotmanipulátorok összefoglalása (max. kinyúlás <1m)

| Gyártó | Modell | Konfig. | Tömeg (kg) | Max. teher (kg) | Max. kinyúlás | Üzem-fesz. | ROS 2 |
|-----------------|---------------|-------------|------------|-----------------|---------------|------------|----------|
| FANUC | CRX-5 | Antropomorf | 25 kg | 5 kg | 994 mm | 24 V | Közösség |
| FANUC | LR Mate 200iD | Antropomorf | 25 kg | 7 kg | 717 mm | 24 V | Közösség |
| EPSON | VT6 | Antropomorf | 40 kg | 5 kg | 900 mm | 24 V | Nincs |
| DENSO | | SCARA | 25 kg | 5 kg | 550 mm | 48 V | Nincs |
| Universal Robot | UR3 | Antropomorf | 11 kg | 3 kg | 500 mm | 48 V | Gyártó |
| Universal Robot | UR5 | Antropomorf | 18,4 kg | 5 kg | 850 mm | 24 V | Gyártó |

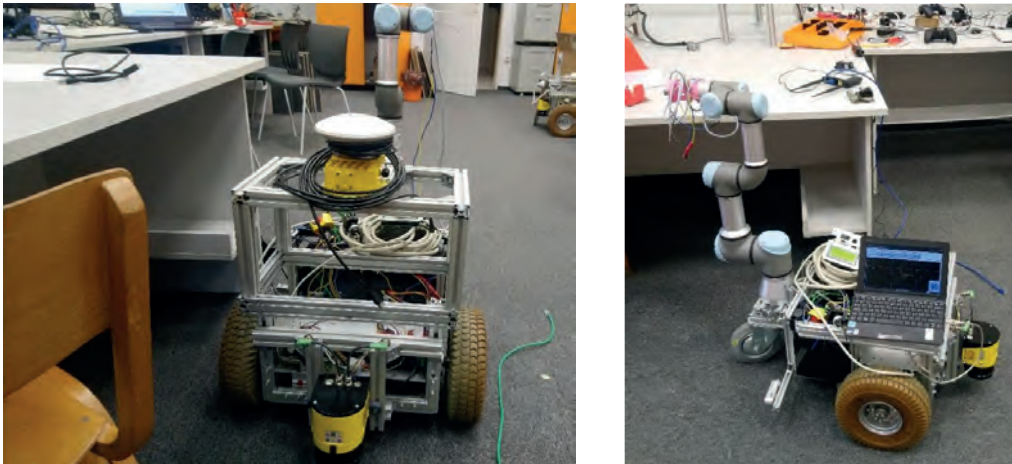
Végül a lehetőségeink egy kis méretű Universal Robots UR3 kollaboratív robotkar beszerzését tették lehetővé. Ez a modell az iparban is elterjedt, szoftveresen is kiterjedt megoldásokkal rendelkezik (ROS 2 támogatottság a gyártó által), összességében ideális fejlesztési munkákhoz és kísérletezéshez. A vezérlőmodul Linux-alapú rendszer, ami konfigurálható és kommunikál a robot többi részével. A robot struktúráját az aktuátorok és szenzorok együttesével mutatja be az 1. ábra. A manipulátort a feladatra egy saját tervezésű megfogóval egészítettük ki és azzal került felszerelésre. Ez a megfogó egy induktív szenzorral érzékeli a mágneses felületet, majd egy elektromágnes segítségével emeli fel. Ezt kihasználva ebben a kísérleti fázisban a bójákat egy mágneses acéllemezzel egészítettük ki, hogy a feladatot egyszerűsíthessük és a szoftver kivitelezésére koncentrálhassunk.



1. ábra: Robot strukturális vázlata a fontosabb komponensek feltüntetésével

Összességében tehát a bójaszedő robot fontosabb egy mobil robot platform és robotmanipulátor kompozíciója (ld. 2. ábra). Fontosabb komponensei tételesen felsorolva:

- A mobil robot platform szerkezetileg egy egyszerű differenciális mobil robot platform. Ez a mobilplatform fel van szerelve egy alacsony szintű vezérlőegységgel (~relékártya), amellyel a platform kerekei mozgathatók (differenciális meghajtás), illetve állapotbecsléshez kiolvashatók enkóderadatai és külön csatornán a SICK S300 által visszaadott síkbeli információ. A mobilplatform sebességreferenciával vezérelhető.
- A mobilplatform kiegészítése egy antropomorf (6-szabadságfokú) robotkarral, mint elsődleges aktuátor. A robotkar effektorra kiegészült egy saját tervezésű megfogóval és egy Intel RealSense alapú RGB-D kamerával. Tápellátása a mobilplatformról megoldott. A robotkar csuklónkénti sebesség- vagy pozícióreferenciával (csuklónkénti szögelfordulás) vezérelhető.
- A mobilplatformon egy külön hely lett kijelölve a terelőbóják missziók alatti tárolására.
- A mobilplatformon egy külön számítógépes vezérlőegység lett elhelyezve a magasszintű feladatok kezelésére, mint az észlelés, missziótervezés, mozgástervezés, tápellátását szintén a mobilplatform energiaellátás biztosítja.
- A helymeghatározásban egy RTK-képes GNSS szenzor segít, ami a platformra van rögzítve.



2. ábra A bójaszedő robot prototípusának megvalósítása

3. Feladat formalizálása

A fejezetben elsősorban a robot fő feladatának és alapdefinícióinak formalizálására koncentrálnunk. A robot szerkezetileg egy differenciális mobil robot és robotmanipulátor strukturális kompozíciója. A robot elsődleges feladata terelőbóják kezelése (felszedés/letétel) egy tetszőleges úttesten, amit a robotmanipulátor segítségével tesz meg. A robot kültéri használatra tervezett, a ZalaZone járműipari tesztpályán elsősorban kisegítő, másodsorban azonban egyfajta demonstratív eszközként.

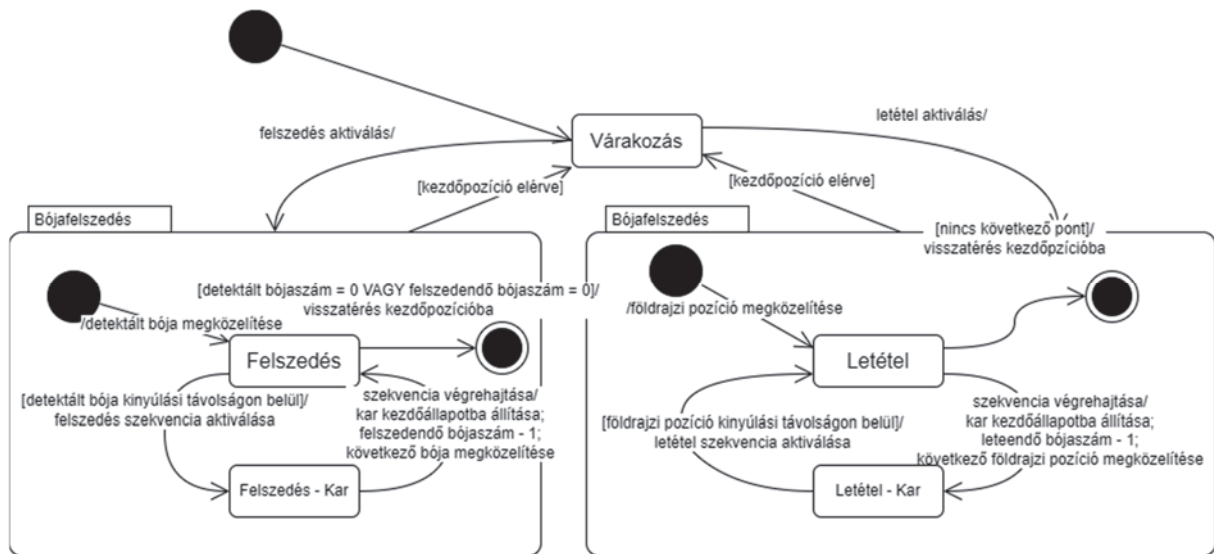
A feladatot formálisabban kifejtve a robot missziója számos terelőbója *felszedése* vagy *elhelyezése*. Ebben a robot segítségére van egy emberi kezelő és külső explicit elérhető információk (pl. a környezet térképe, útburkolati elemek és az elhelyezendő bóják pozíciója). Az egyes terelőbóják helyzete a robot számára kikövetkeztethető (vagy detektálás, vagy explicit leírás alapján).

Mindkét alfeladat végrehajtása során a robot ciklikusan helyez el bójákat az útburkolaton, mindaddig ameddig a misszió által kezelendő bóják el nem fognak. Az úttest és környezet

ismeretéhez mindkettő esetben rendelkezésre áll a robot számára a környezet térképe (egy földrajzi formátumban). Ugyanakkor alfeladatból fakadóan – amely módot az emberi operátor határoz meg - mind a résztevékenységek, mind a ciklus befejezési feltétele változik:

- A *bóják felszedése* során megfelelő számú bóját szed fel, amiket az útburkolat egy ismert részhalmazán detektálunk. Opcionálisan kiegészítő információként ismerhető az egyes bóják helyzete, de a robot alapvetően önállóan detektálja ezeket a bójákat. A robot egy bója felismerését követően megközelíti a bóját, majd a manipulátor segítségével felszedi és elhelyezi a robot tartólemezen a bóját. Ezt a robot mindaddig folytatja, ameddig az útburkolaton az összes detektálható bóját fel nem szedte, vagy nem telt meg a tároló.
- A *bóják lerakása* során a robot megközelíti a bója megjelölt pozícióját (operátor vagy adatbázisból kiolvasott pozíciók alapján). A pozíció megfelelő pontosságú megközelítését követően a robot a manipulátor segítségével a robot tartóeleméről egy bóját. A folyamatot ismétli mindaddig a robot, ameddig vagy az operátor által kijelölt bójapontok, vagy a tartóelemen rendelkezésre nem álló bóják nem fogynak el.

A fentiekből a robot viselkedése modellezhető egy olyan állapotgéppel, ahol az operátor interakciói alapján vált bójaletétel és -felvétel között, minden egyes állapotban aktiválva egy robotmanipulátor szekvenciát, amellyel a bója kezelhető. Ezek alapján a robot egy nagyon absztrakt működését mutatja a 3. ábra.



3. ábra: Robot absztrakt viselkedése bóják felszedésére

A robot induláskor saját lokalizációjával (aktuális állapot becslése) kezdi a működést. Ennek várható kimenete a robot elhelyezkedése (földrajzi koordináták és abszolút irányultság). A továbbiakban a földrajzi koordináták alatt *univerzális transzverzális Merkátor* (UTM) koordinátákat értünk, vagyis a földrajzi szélességi és hosszúsági fokok leképezését Descartes koordinátákká. Ez a leképezés, egyetemben más földrajzi rutinokkal régóta fejlesztett terület, egy jó példa erre a GeographicLib¹ [1]. Ezáltal a robot ismeri a kezdőpozíciót (ún. *homing position*), ahova az elvégzendő feladat befejezését követően visszatérhet. A robot orientációja különféle módon reprezentálható, számítási és tárolási szempontból a kvaternió alapú reprezentáció megfelelő (formálisan követve pl. a NASA xyzw jelölést). Két GPS szenzor használata esetén egyszerű kiszámítani az orinetációt, különösen kvaternió-alapú

¹ <https://geographiclib.sourceforge.io/oindex.html>

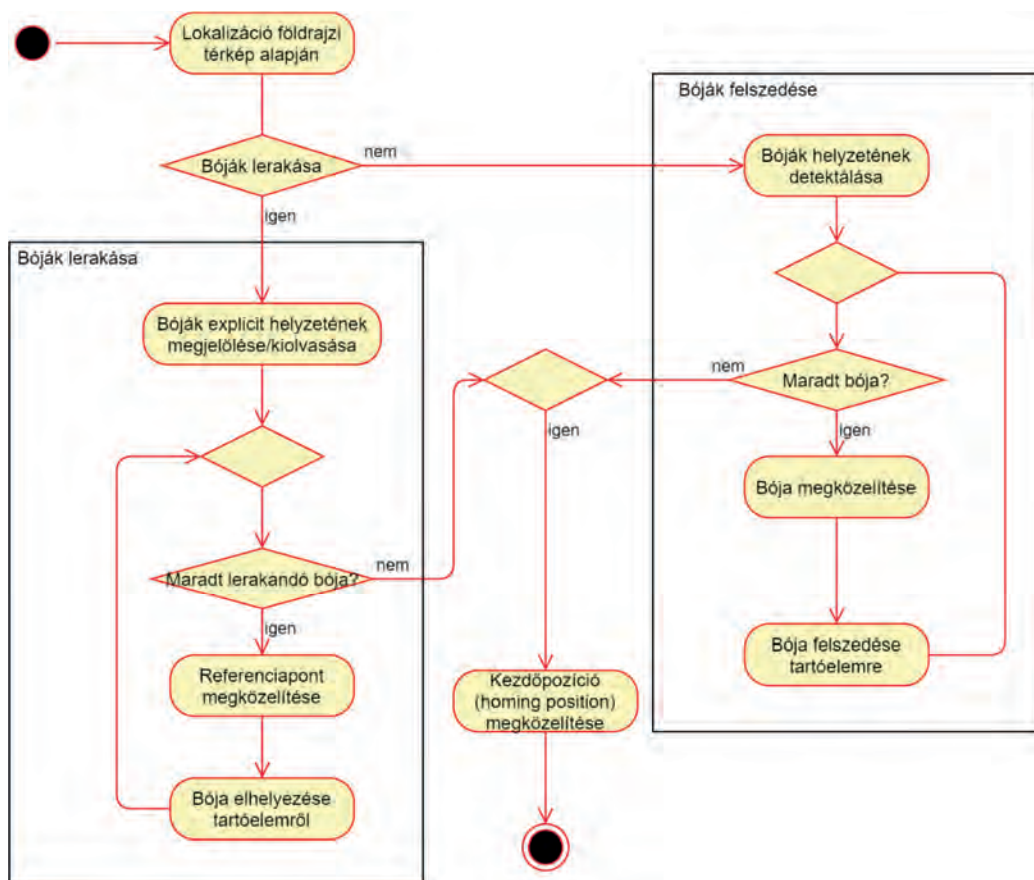
formalizmusra, amivel ki is kerülhető az Euler-féle jelölésre jellemző differenciális hiba és küszöbértékek kezelése [2]. Egy GPS használata esetén az abszolút orientáció inkrementálisan, korábbi pozíciók alapján becsülhető. Összességében, a robot pillanatnyi nulladrendű állapota abszolút földrajzi pozíció és az abszolút orientáció kompozíciója, elsőrendű állapota pedig a lineáris sebesség (abszolútértéke az enkóderek által visszaadott sebesség) és szögsebesség (ez egy differenciális kvaternió az előző időponthoz képes) kompozíciója:

$$\hat{X}_G^R = \begin{bmatrix} x & y & z \\ r_w & r_x & r_y & r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{UTM} & y_{UTM} & z_{UTM} \\ r_{w_{UTM}} & r_{x_{UTM}} & r_{y_{UTM}} & r_{z_{UTM}} \end{bmatrix} \in \begin{bmatrix} \mathbb{R}^3 \\ \mathbb{Q}^4 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\hat{X}}_G^R = \begin{bmatrix} \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \\ r_{\dot{w}_{UTM}} & r_{\dot{x}_{UTM}} & r_{\dot{y}_{UTM}} & r_{\dot{z}_{UTM}} \end{bmatrix} \in \begin{bmatrix} \mathbb{R}^3 \\ \mathbb{Q}^4 \end{bmatrix}$$

Egy misszió a kijelölt módtól függően, a bóják pozícióját tárolja vagy észlelés során állítja elő ezeket: UTM-koordináták sorozatát kezeli. A pillanatnyi misszió tehát formálisan $M \subset \mathbb{R}^{n \times 3}$, ahol n a hátralevő felszedendő/leteendő bóják száma. A misszióhoz meghatározható egy kezdőpozíció (*homing position*), ami vagy a robot indulásakor először megbecsült kellően pontos pozíció, vagy a felhasználó által explicit hozzárendelt pozíció. Értelemszerűen, itt elegendő egy UTM koordinátát megadni, opcionálisan pedig egy kezdőorientáció is megadható.

A robot kiindulva az első állapotból a misszióban tárolt által relatív feladatpozíciókhoz jut el és kezeli a terelőbójákat. A teljes folyamatot további részfeladatokra bontva mutatja be az 4. ábra.



4. ábra: A terelőbójákat kezelő robot magasszintű működési folyamata

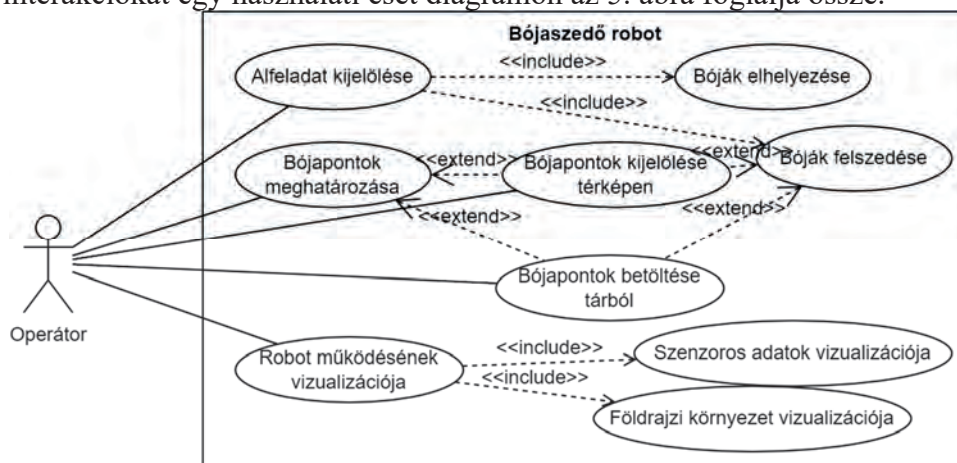
Mindkét alfeladat teljesítését követően a robot visszatér a korábban tárgyalt kezdőpozícióba (*homing position*) és várja az operátor következő utasítását.

4. Rendszerterv

A robot feladatából leképezhetőek az ember-robot közötti interakciós lehetőségek. Az operátor alapvetően meghatározhatja az alfeladat típusát - vagy terelőbóják adott sorozatának felszedése vagy elhelyezése. Az operátor meghatározhatja explicit a bójákat hova szeretné lerakni – formálisabban az adott misszióban minden egyes bójához hozzárendel egy földrajzi koordinátát. Ezt a pontsorozat külsőleg elmenthető, vagyis meghatározhat egy missziót

1. Meghatározzák az alfeladatot (felszedés/leszedés).
2. Explicit kijelölik a bójapontokat az útfelületen, vagy meghatározzák a bója pontok listáját egy adatbázisból.
3. Felügyelik vizuálisan a robot működését és beavatkoznak a körülményeknek megfelelő szituációban (pl. elakadás, bója kikerülése, kezelhetetlen veszélyes helyzet), a szenzorok pillanatnyi leképzesét figyelik, és nyomon követik a robot helyzetét a földrajzi terepen.

Az emberi interakciókat egy használati eset diagramon az 5. ábra foglalja össze.

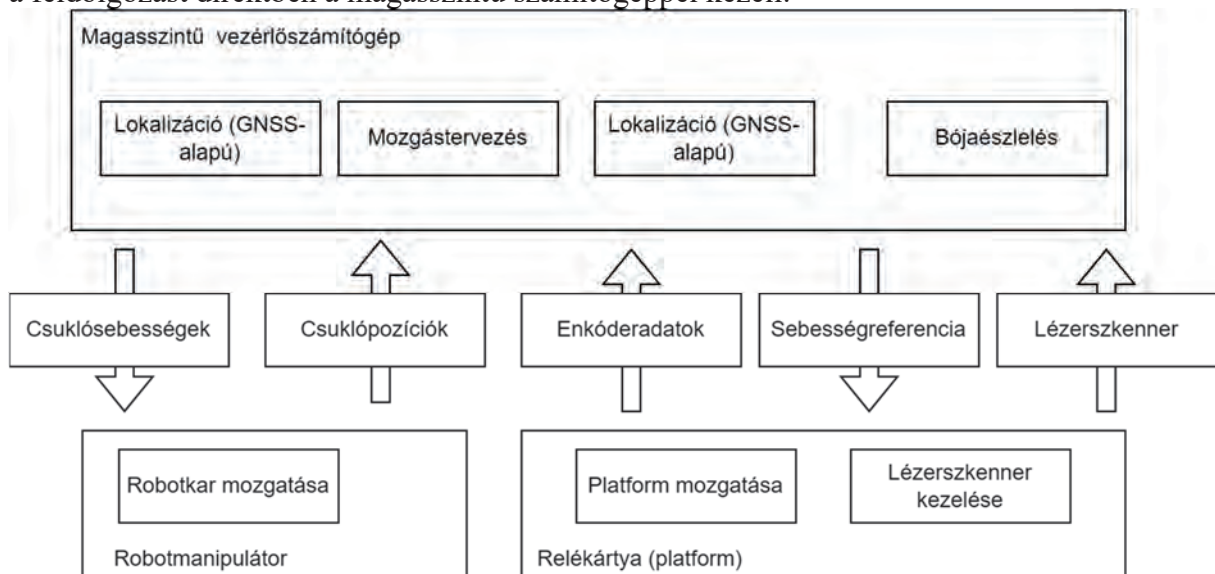


5. ábra: Leképzett emberi interakciók a megfogalmazott feladat alapján

Szoftveresen a teljes robot egy nagyon komplex összefüggő rendszer az egyes számítógépmódulok között, elosztott komponensekből áll. A robotplatform és a robotmanipulátor számítási egységein futó operációs rendszerek Linux alapúak. Emiatt egy elosztott kommunikációs hálózat került kialakításra. A kialakítás egyezik az Európai Robotikai Fórumon (ERF) elhangzott direktívákkal, miszerint a robotikai rendszereket elosztott számítási rendszerként célszerű megtervezni. Ehhez alkalmasnak ígérkezik a választott kommunikációs keretrendszer, a kutatásokban és az ipari felhasználásban is egyre elterjedtebb nyílt forráskódú Robot Operating System 2 (ROS 2) [3]. A keretrendszer egyeduralgó szerepe más keretrendszerekkel szembeni könnyű fejlesztetőségében rejlik, másrészt az alap kommunikációs platform ipari és katonai környezetben is használt *Data Distribution Service* (DDS) szabványra építkezik, ami lehetővé teszi a biztonságos, szolgáltatáskonfigurációt és a valós-idejű kapcsolatot a végpontok között [4]. Ezáltal lehetőség nyílik az egyes szoftveres komponensek közötti kommunikációs gráf felépítésére, amelyben a csomópontok a futó programok, az élek pedig a kommunikációs összeköttetések.

A robot mobil platform a meghajtáshoz legközelebbi szinten (~aktuátorok) egy alsószintű vezérlőkártyával (~relékártya) van felszerelve, ami a motorokat és a biztonsági köröket kezeli. Itt az egyes motorok CAN-alapú kapcsolaton keresztül vezérelhetőek, amelyek amellett, hogy

sebességreferenciát adnak, a motorok aktuális állapotát és az akkumulátorkezelő rendszer állapotát (pl. mért aktuális feszültség, becsült kapacitás). Ezek a feladatok kritikusak a platform működése szempontjából, valós-idejű operációs rendszer működteti, szinte passzív-determinisztikus szabályozás valósul meg ezen a szinten. A magasabb szintű feladatok (pl. mozgástervezés, objektumdetektálás) a magasszintű számítógépen kerültek felszerelésre. Ezen a szinten a nagyobb számítási teljesítmény elsődleges, mind a navigáció, mind az észlelési számítási- és memóriaigénye jelentős, szemben a teljesen biztonságkritikus működéssel. Ráadásul, ezek az eszközök teljesítményükhöz képest olcsónak számítanak, az újabb Linux kernel verziók pedig támogatják a valós-idejű működést (pl. PREEMPT-RT kernel). Bár a robotmanipulátor saját vezérlőrendszerrel van felszerelve, ennek kapcsolatban kell lennie más eszközökkel is, hogy referenciapontokat kapjon (vö. bóják helyzete). A számítógépes egységek közötti kommunikációt a továbbított adattal és az egyes komponensekhez rendelt magasszintű feladatokat a 6. ábra foglalja össze. Megjegyzendő, hogy bár a kamera a robotkaron rögzített, a feldolgozást direktben a magasszintű számítógéppel kezeli.



6. ábra: számítógépes komponensekhez rendelt absztrakt feladatok és kommunikáció az egyes komponensek között

A kommunikációs ábrából kiderül, hogy szoftveresen a legjelentősebb komponens – révén dedikált számítási teljesítménye miatt - a rendszerben a magasszintű vezérlő számítógép. Több komplex feladat is tartozik hozzá, miközben a relékártya és a robotmanipulátor vezérlője alacsony szintű folyamatokat kezel.

Bár a robot teljes működéséhez sok szoftveres alkomponens megbízható és összehangolt működése szükséges, az előző fejezet alapján a minimális működéshez a következő alfeladatokat végrehajtó komponensek megléte szükséges a meghajtóprogramok meglétéén túl:

- **Odometria:** a robot állapotbecslésében (ld. lokalizáció) és telemetriában segíthet, ami a robotplatform kezdőpozícióból számított elmozdulását becsüli meg a robot kinematikai modellje alapján és a historikus referenciaüzenetek alapján.
- **Lokalizáció:** a robot lokalizációja fontos, ami tulajdonképpen a robot GPS-RTK alapú lokalizációja a rendelkezésre álló térképen elhelyezve. Bár a GPS-RTK alapú szenzor önmagában működőképessé teszi a robotot, bizonytalanságot és additív csúszást visz a rendszerbe. Ez a hiba viszont csökkenthető további szenzorok kimenetének fuzionálásával, ezáltal a robot állapotbecslése stabilizálható (pl. Kálmán-szűrő, részecskeszűrés) [5]. A lokalizáció hatékonyságát tovább növelhetik különböző földrajzi térképek használata (amelyek szöveges strukturált formában tárolhatók az

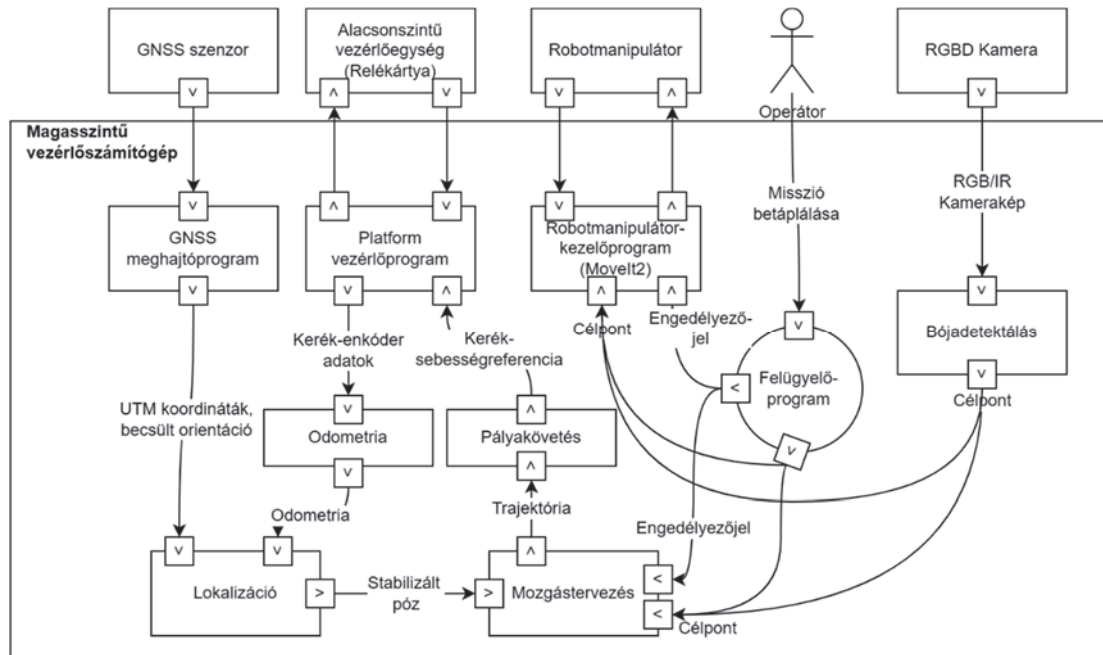
akadályokat feltüntetve [6]), illetve szimultán lokalizációs-térképkészítő (SLAM) algoritmusok.

- **Mozgástervezés (platformnavigáció):** a robotnak a saját megbecsült állapotából képesnek kell lennie megközelítenie az éppen következő bója helyzetét beavatkozáshoz. Ehhez mozgástervező módszereket kell bevetni, aminek kimenete egy trajektória (vagy, pálya). A mozgástervezés jellege miatt egy jelentősen kutatott terület, több megvalósított könyvtárral [7]. A cikkben tárgyalt robothoz új megközelítésű mozgástervező keretrendszer készült, viszont ez nem fér bele a cikk tartalmába. A trajektória megtervezéséhez szükséges a környezet egy reprezentációja, ami hagyományosan a globális információt (pl. térképek) és a robot által megismert környezet ismeretét fuzionálja.
 - o A trajektóriatervezést önmagában is a fuzionálás szintjei szerint szokta a szakirodalom kategorizálni, tehát a globális információra támaszkodó pályatervezést globális-, a robot környezetére támaszkodó pedig lokális-pályatervezésként szokták hivatkozni. Értelemszerűen a globális-pályatervezés a robot nagy térben való közlekedésére koncentrálnak, míg a lokális pályatervezés hirtelen felbukkanó akadályok kikerülésére összpontosít.
 - o A trajektóriát minden esetben egy meghatározott formátumon, környezetrepresentáción dolgozva lehetséges előállítani. Környezetrepresentációra legkézenfekvőbb egy négyzetrácsal felbontani a fuzionált környezetinformációt, más hatékonyabb módszerek ritkább gráfos megoldást választanak (kvadro-oktofák [8] [9], valószínűségi térképek [10], Voronoi-féle felosztás [11]).
 - o A megkapott környezetrepresentációt feldolgozva különböző módszerekkel állítható elő a trajektória, hagyományos módon gráfalapú kereséssel (pl. Dijkstra, A*), vagy tisztán approximációs módszerrel (pl. elasztikus-fonál módszer [12]). Más módszerek hagyományos módszereket kombinálnak bonyolultabb optimalizációs módszerekkel (pl. Hibrid A* [13], idő-elasztikus fonál módszer [14]).
 - o Az eredménytrajektóriát a platform egy trajektória-követő módszer (pl. szimpla PID, pure-pursuit, MPC) a robotplatform forward-kinematikai modelljére képez le, pillanatnyi sebességreferenciát állítva elő a platform egyes kerekeihez.
 - o Fontos megjegyezni, hogy a trajektóriatervező algoritmusok és a környezetrepresentáció előállítása esetén egy robotplatform esetében kritérium a (soft)valós-idejű számítási teljesítmény, értelemszerűen megfelelő küszöbértékekkel a trajektóriatervezés szintjeire. Trajektóriakövetés esetén nem ritka erősen valós-idejű működés sem. Emellett fontos, hogy a számítási erőforrásokat szabadon hagyja a többi kritikus alkalmazás számára. Ideális esetben a környezetrepresentáció nem monolitikus komponense a mozgástervező szoftvernek, ám nem triviális megoldása. A környezetrepresentáció elosztott kezelése napjaink egyik felmerülő robotikai kihívása [15].
- **Manipulátor kezelése:** a robotmanipulátor alacsonyszintű irányítása és csuklóállapotainak kezelése egy szükséges feladat a robot manipulátor elérésére és manipulátor trajektória kezelésére. Emellett egy különálló feladat a manipulátor számára is szükséges különböző pályatervező algoritmusok használata, hogy a robot lokális térben képes legyen beavatkozni és a bójákat kezelni. A használható algoritmusok hasonlóak a platform trajektóriájának tervezéséhez (pl. TEB [16]), ugyanakkor valamelyest különböző kritériumokkal: a platform mozgatása esetén fontos, hogy a mozgás folyamatos legyen, minél kevesebb megállással, ezzel szemben a

manipulátor trajektóriájának a lehető legpontosabbnak kell lennie, általában megengedett a valamennyivel lassabb tervek készítése. A feladat megoldásához a MoveIt2 [17] keretrendszer alkalmazható, amely ipari robotmanipulátorok esetén elterjedt és lehetővé teszi a jelzésalapú, reaktív vezérlést.

- **Bójafelismerés:** a bóját kamerakép segítségével kell detektálni és a robot lokális keretrendszerében elhelyezni. A bóják felszedéséhez és elhelyezéséhez egyaránt szükséges a bóják és relatív pózának (pozíció és orientáció) detektálása kamerakép segítségével, ezzel végezhető el a bóják kezelése manipulátor segítségével. Ez alapján a felszedni kívánt bója abszolút pozíciója is kikövetkeztethető, ezáltal egy célpont adható meg a mozgástervezésnek. A bójadetektálás folyamatának tárgyalása nem jelen cikk tárgya.
- **Felügyelőprogram:** a platform és a manipulátor mozgását különállóan kell kezelni, az előző fejezetben tárgyalt módokon (ld. 3. ábra, 4. ábra). Ehhez szükséges egy program, ami figyeli a robot belső kommunikációjában küldött jelzéseket, ez alapján vált az egyes állapotok között, gyakorlatilag a manipulátor és platform mozgása között. Ez a program szintén csak jelzéseket küld a megfelelő szoftveres komponenseknek, az összes többi komponensről különállóan fut. Emellett ez a program ad egy interfészt az operátornak, amin keresztül beavatkozhat a robot működésébe (pl. ezen keresztül határozhatja meg a missziót). A megvalósítás jelen fázisában a missziókat is ez a program kezeli, vagyis célgenerátor a mozgástervezés számára.

Az egyes alkomponensek bemenetét/kimenetét mutatja a a várt szenzorok és beavatkozók megjelölésével. A rendszerterv megmutatja, hogy a mobilrobot platform szolgáltat odometria (motor-enkóderek által becsült) helyzetinformációkat, amiket a lokalizáció felhasznál az explicit térképadatok és az egyéb szenzorok fuzionálása mellett (RTK-GPS, opcionálisan IMU). Az akadály- és bójadetektáláshoz az eszköz kamerákat használja fel. A kikerülendő akadályok magukba foglalják egyrészt az útburkolatnak a széleit és az ott esetlegesen felmerülő más akadályokat (pl. ember). Ezeknek az objektumoknak a két csoportját használja fel a mozgástervezés: az akadályok és célpontok egyaránt egy környezetrepresentációban szerveződnek, amiket a pályatervező algoritmusok (mind a mobilplatform, mind a manipulátor) döntési térként használnak fel. Az irányító algoritmus külön választott a mozgástervezéstől, mivel ezek alapvetően fizikai szerkezetben más eszközök beavatkozását valósítják meg.



7. ábra: Szoftveres alkomponensek és összeköttetések

5. Konklúzió

Jelen cikk bemutatta egy bóják felszedésére alkalmas mobil robot tervezésének folyamatát, elsősorban a rendszertervezésre és a szoftverfejlesztés folyamatára koncentrálna. A robotunk egyedülálló újítása, hogy teljesen ROS2-re alapszik, ami egy új megbízható kommunikációs keretrendszer a robotikai és ipari alkalmazásokban egyaránt. A cikk egy komplex folyamat részeként a fő feladat ismertetését követően elsődlegesen a rendszertervezés témakörére koncentrált. Aktuális eredményeink egyrészt egy megfelelő keret kidolgozása egy kültéren használható robothoz másrészt a robot sikeres integrációja az ROS2 ökoszisztémába (beleértve a lokalizációt és a navigációt is).

Jelenleg egyértelmű technikai jellegű fejlesztések hiányoznak a projekt megvalósításának szempontjából (szoftveres implementáció befejezése, tesztelés, finomhangolások). Emellett további mozgástervező algoritmusokat szeretnénk implementálni és integrálni a keretrendszerünkbe (pl. RRT alapú megoldások). További fejlesztéseink a robotmanipulátor és a mobilplatform összehangolására fókuszálnak. Emellett szeretnénk egy egyszerű felhasználói felületet lefejlesztetni, amivel az ember könnyedén interakcióba léphet (vö. azonnali beavatkozás, felügyelet) a robot különböző szoftveres komponenseivel és irányíthatja azokat. Ezekkel a projekt az egyértelmű közlekedési és ipari automatizálás fő irányvonalától kissé az ember-gép és gép-gép interakciók vizsgálata irányába is lehet fejlesztéseket eszközölni.

6. 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] C. F. F. Karney, „Algorithms for geodesics”, *J. Geod.*, köt. 87, sz. 1, o. 43–55, jan. 2013, doi: 10.1007/s00190-012-0578-z.
- [2] B. K. P. Horn, „Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions”, *J. Opt. Soc. Am. A*, köt. 4, o. 629–642, 1987.
- [3] Y. Maruyama, S. Kato, és T. Azumi, „Exploring the performance of ROS2”, in *Proceedings of the 13th ACM SIGBED International Conference on Embedded Software (EMSOFT)*, 2016, o. 1–10.
- [4] D. Thomas, W. Woodall, és E. Fernandez, „Next-generation ROS: Building on DDS”, Mountain View, CA, 0 2014. doi: 10.36288/ROSCon2014-900183.
- [5] S. Thrun, W. Burgard, és D. Fox, *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*. The MIT Press, 2005.
- [6] P. Bender, J. Ziegler, és C. Stiller, „Lanelets: Efficient map representation for autonomous driving”, in *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, jún. 2014, o. 420–425. doi: 10.1109/IVS.2014.6856487.
- [7] I. A. Şucan, M. Moll, és L. E. Kavraki, „The Open Motion Planning Library”, *IEEE Robot. Autom. Mag.*, köt. 19, sz. 4, o. 72–82, 0 2012, doi: 10.1109/MRA.2012.2205651.
- [8] R. A. Finkel és J. L. Bentley, „Quad trees a data structure for retrieval on composite keys”, *Acta Inform.*, köt. 4, sz. 1, o. 1–9, 0 1974, doi: 10.1007/BF00288933.
- [9] J. Berrio, W. Zhou, J. Ward, S. Worrall, és E. Nebot, „Octree map based on sparse point cloud and heuristic probability distribution for labeled images”, 2018. doi: 10.1109/IROS.2018.8594024.
- [10] L. E. Kavraki, P. Svestka, J.-C. Latombe, és M. H. Overmars, „Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces”, *IEEE Trans. Robot. Autom.*, köt. 12, sz. 4, o. 566–580, 0 1996, doi: 10.1109/70.508439.
- [11] H. Kaplan, W. Mulzer, L. Roditty, P. Seiferth, és M. Sharir, *Dynamic Planar Voronoi Diagrams for General Distance Functions and their Algorithmic Applications*. 2016.
- [12] S. Quinlan és O. Khatib, „Elastic bands: connecting path planning and control”, in *[1993] Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1993, o. 802–807 köt.2.
- [13] D. Dolgov, S. Thrun, M. Montemerlo, és J. Diebel, „Path Planning for Autonomous Vehicles in Unknown Semi-structured Environments”, *Int. J. Robot. Res.*, köt. 29, sz. 5, o. 485–501, 2010, doi: 10.1177/0278364909359210.
- [14] M. Keller, F. Hoffmann, C. Hass, T. Bertram, és A. Seewald, „Planning of Optimal Collision Avoidance Trajectories with Timed Elastic Bands”, *IFAC Proc. Vol.*, köt. 47, sz. 3, o. 9822–9827, 2014, doi: <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.01143>.
- [15] C. Hajdu és Á. Ballagi, „Proposal of a Graph-based Motion Planner Architecture”, in *2020 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 2020, o. 000393–000398. doi: 10.1109/CogInfoCom50765.2020.9237891.
- [16] B. Magyar, N. Tsiogkas, J. Deray, S. Pfeiffer, és D. Lane, „Timed-Elastic Bands for Manipulation Motion Planning”, *IEEE Robot. Autom. Lett.*, köt. PP, o. 1–1, 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2927956.
- [17] M. Görner, R. Haschke, H. Ritter, és J. Zhang, *MoveIt! Task Constructor for Task-Level Motion Planning*. 2019, o. 196. doi: 10.1109/ICRA.2019.8793898.

Forgalomtechnikai terelőbója manipulációja valós és szimulált mobilplatform alapon

Manipulation of a Traffic Cone Based on Real and Simulated Mobile Platform

Krecht Rudolf^a, Gömböcz Zoltán^b, Szilágyi Zoltán^c, Ballagi Áron^d

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

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont
gombocz.zoltan@ga.sze.hu

^cSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási Tanszék
szilagyi.zoltan@ga.sze.hu

^dSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási Tanszék
ballagi@ga.sze.hu

Absztrakt: A valós mérések és tesztek szükségességéből adódóan az önvezető járművek fejlesztése ideiglenes, könnyen rekonfigurálható tesztszenáriók, tesztpályák felépítését igényli. Ezen tesztpályák általában forgalomtechnikai terelőelemekből, például terelőbójákból épülnek fel. A pályaépítési folyamatok gyorsabbá és pontosabbá tétele érdekében a forgalomtechnikai terelőbóják szállítása, manipulációja mobil robotplatform által is történhet. Jelen cikk célja egy forgalomtechnikai mobil robotplatform manipulátorának fejlesztéséhez kapcsolódó lépések ismertetése. Először bemutatásra kerülnek a manipulátorral szemben támasztott követelmények, valamint a manipulációhoz választott robotkar. Ezt követően megtörténik a forgalomtechnikai terelőbóják megfogására alkalmas manipulátor fejlesztési és prototipizálási lépéseinek ismertetése, végül pedig a robotkar és megfogó ROS 2 (Robot Operating System) rendszerhez történő illesztése. A cikk elemét képezi a fejlesztéssel párhuzamosan összeállított számítógépes robotszimuláció kialakításának ismertetése is.

Kulcsszavak: mobil robot, robotmanipulátor, számítógépes robotszimuláció, ROS 2

Abstract: The necessity of measurements and tests targeting self-driving and autonomous vehicle developments requires easily reconfigurable test scenarios and tracks. These test tracks are usually constructed by the usage of movable, standardizable objects, like traffic cones. In order to make test track construction faster and more precise, mobile robot platforms can be applied for traffic cone transportation and handling. The aim of this article is to present the development steps of a manipulator designed for a mobile robot platform for traffic cone manipulation. Initially, requirements regarding the manipulator are listed, followed by the presentation of the chosen robot arm. After that, the manipulator tool developed for traffic cone handling is described, including the software integration of the robot arm and manipulator using ROS 2 (Robot Operating System). The computer robot simulation created based on the mobile robot platform and the robot manipulator is also presented, as an aid tool for manipulator development.

Keywords: mobile robot, robot manipulator, robot computer simulation, ROS 2

1. Bevezetés

Az önvezető járművek fejlesztése szempontjából kiemelt szereppel rendelkeznek a valós szenzoradatgyűjtési folyamatok, valamint tesztfolyamatok. Ezen méréseknek és teszteknek a fejlesztés szempontjából jól körülhatárolt körülmények között kell lezajlaniuk, ezért különálló feladatként jelenik meg az önvezető járművek tesztfolyamatai során a megfelelő paraméterekkel rendelkező tesztpályák ideiglenes felállítása. Az ideiglenes mérési és/vagy teszthelyszínek összeállítása általában forgalomtechnikai építőelemekből, például forgalomtechnikai terelőbójákból történik. Projektünk célja olyan mobil robotplatform létrehozása, amely a felhasználó által megadott pályamintákat gyorsan és pontosan felépíti forgalomtechnikai terelőbóják szállítása és manipulációja által.

Jelen cikk a korábbiakban ismertetett mobil robotplatform manipulátorának fejlesztési, prototipizálási lépéseit mutatja be. A fejlesztés lépései tartalmazzák a manipulációhoz szükséges robotkarral szemben támasztott követelményrendszer felállítását, a robotkar kiválasztását, a mobil robotplatform rendszeréhez történő illesztését, valamint az egyedi, a forgalomtechnikai terelőbója jellemzőihez illeszkedő robotmegfogó fejlesztését. A manipulátor fejlesztése a prototípusépítéssel párhuzamosan szimulációs környezetben is zajlik, bemutatásra kerülnek a mobil robotplatformhoz illesztett robotmanipulátorral kapcsolatos szimulációalkotás fázisai is.

2. Robotkar kiválasztása

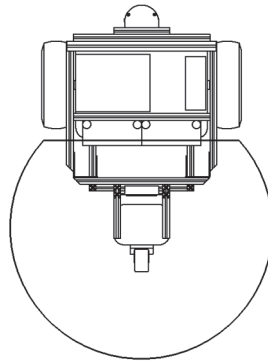
A projekt célkitűzése szempontjából kulcsfontosságú a robot célobjektum-manipulációs képességének biztosítása. A feladat elvégzéséhez szükséges robotkar alapvető kiválasztási kritériumait 1. táblázat tartalmazza. A kritériumok a feladatot megvalósító mobil robotplatform paramétereire alapján határozhatók meg [1].

1. táblázat. A robotkarral szemben támasztott követelmények

| Jellemző | Figyelembe vett körülmény | Elvárt érték/tulajdonság |
|---|--|--|
| Saját tömeg (robotkar és vezérlőegység) | A mobil robot maximális terhelhetősége | max. 40 kg |
| Maximális karkinyúlás | A mobil robot és a manipulálandó fizikai tárgy kiterjedése | min. 500 mm |
| Robot kinematikai modell | A manipulációs feladat rugalmas elvégzése | 6 tengelyes függőleges csuklókaros |
| Maximális terhelhetőség | A manipulálandó tárgy és a szerszám tömege | min. 3 kg |
| Kollaborációs képességek | Biztonsági szempontok | Cobot |
| Írányító rendszer nyitottsága | ROS 2 ökoszisztéma | ROS 2 driver megléte |
| Energiaellátás | Mobilitás, akkumulátoros táplálás | 24, vagy 48 VDC táplálás lehetősége |
| IP védettség | Kültéri alkalmazás | min. IP 67, vagy utólagos védelem kialakíthatósága |

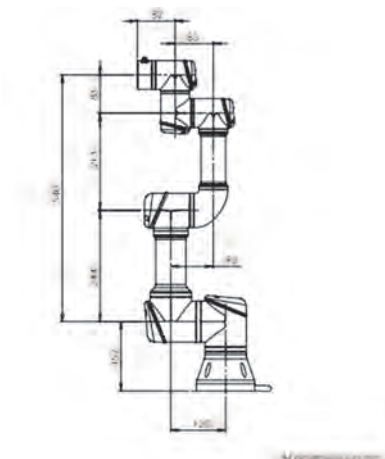
Az 1. táblázatban felsorolt követelmények alapján megvizsgált gyártók és robotok közül az Universal Robot UR3 (1. ábra) robotja került kiválasztásra. A fentiekben túl a kiválasztásban

hangsúlyos szerepe volt annak is, hogy az Universal Robot által gyártott eszközök már széles körben alkalmazásra kerültek a jelen cikk esetében kijelölthöz hasonló feladatok ellátására [2].



1. ábra. A robotkar munkaterének meghatározása

A kiválasztott robotkar a korábban felsoroltak közül egyetlen kritériumot nem teljesít kielégítő mértékben, ugyanis IP 54 védelességgel rendelkezik az elvárt IP 67 szintű védelem helyett. A fejlesztés időtartamára ezen követelmény figyelmen kívül hagyható, szem előtt tartva, hogy a későbbiekben további burkolati elemek hozzáadásával kialakítható az IP 67 szintű mechanikus védelem.

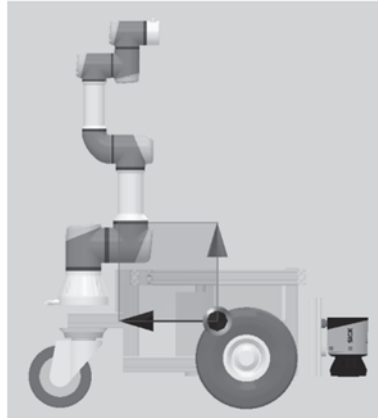


2. ábra. Universal Robot UR 3 robotkar dimenziórajza

3. Robotkar elhelyezése a mobil robotplatformon

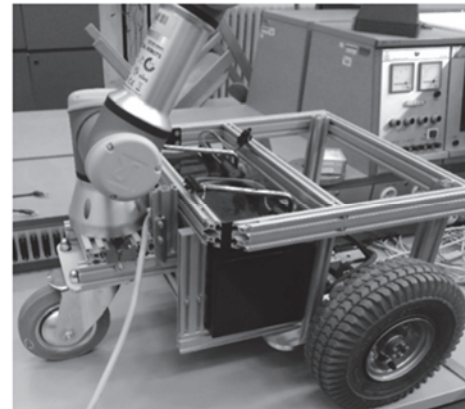
A kiválasztott UR3 robot fizikai dimenziói jól illeszkedtek a mobil robotplatform kiterjedéséhez, így az elhelyezés megoldása volt a következő lépés. A mobil robotplatform háromkerekű, differenciálhajtással és egy önbeálló, két szabadságfokú segédkerékkel felszerelt. A robotkar elhelyezésénél a következő szempontokat kellett figyelembe venni:

- A mobil robot tömegeloszlása
- A robotkar tömege és a tömegközéppont-változása
- A robotkar munkaterének optimális kihasználása, mind a platform, mind a környezet irányába
- A mobil platform pozicionálási képessége, és ennek hatása a robotkarra



3. ábra. A robotkarral ellátott platform tömegközéppontjának ellenőrzése Autodesk Inventor alkalmazásával

A fenti szempontokat figyelembe véve a robotkar a mobil robot felső síkja alatt, a szabadon futó kerék második szabadságfokának tengelyvonalához igazodóan lett elhelyezve. Ez az elhelyezési pozíció lehetővé teszi, hogy a kar az 500 mm maximális karkinyúlását a platform és a környezet felé is ki tudja használni. A mobil platform forgása során a robot a környezettel a lehető legközvetlenebb kapcsolatban lehet, így a környezeti tárgyak manipulációja optimálisan megvalósítható. Tekintve, hogy a mobil platform akkumulátorai, mint a legnagyobb tömeget jelentő egységek, középen kerültek elhelyezésre, így a tömegközéppont is optimálisan volt tartható.



4. ábra. Robotmanipulátor elhelyezése a mobil platformon (CAD modell és prototípus)

4. Robotmegfogó, objektummanipuláció

A projekt kritikus pontjának tekinthető a forgalomtechnikai terelő bója szerepét betöltő műanyag modell manipulációja. A feladat megvalósítása érdekében egyedi megfogási módszer és egyedi megfogószerkezet tervezése vált szükségessé. A környezethez, a feladathoz és az esetleges váratlan eseményekhez való rugalmas alkalmazkodás érdekében az elektromágneses elven működő megfogásra esett a választás. Ehhez a műanyag bóját el kellett látni egy, a megfogás szempontjából alkalmazható fémes felülettel. Az így kialakított felületen már lehetett alkalmazni az elektromágneses megfogási módszert. A megfogás fizikai megvalósításán túl lényegesnek mutatkozott visszacsatolás létrehozása is, amely a megfogni kívánt bója jelenlétét ugyanúgy képes volt visszajelezni, mint a már megfogott, manipuláció alatt álló bóját. Ezzel egyrészt a robot mozgását, pozicionálását lehetett rugalmasabbá tenni, valamint a mozgás során elvesztett munkadarab eseményét is detektálhatóvá teszi. A legegyszerűbb megoldást egy

induktív szenzor alkalmazása jelentette, ami 2-5 mm távolságból képes érzékelni a bója fémes felületét. Az elektromágnes közelsége miatt azonban egyszerű induktív szenzor alkalmazása nem célravezető a felmágneseződés veszélye miatt, így mágneses térrel szemben védett szenzor került alkalmazásra.



5. ábra. A megfogó prototípusa ideiglenes kamerával, fejlesztés alatt

A robotmegfogó mellé, a megfogást másodlagosan támogatva, valamint a mobil platform pozicionálási képességét is kiterjesztve, elhelyezése került egy 2,5 D mélységkamera. A kamera a robot 6. tengelyének segítségével mozgás közben is a szerszámmal azonos pozícióban marad, így lehetőséget kínál a megfogás folyamatának nyomon követésére. A feladatra az OnRobot Eyes ipari kamera megoldás került kiválasztásra.



6. ábra. OnRobot Eyes ipari 2,5D kamera

Az így kialakított megfogó alkalmasnak mutatkozik a minimum követelmények teljesítésére, de a tesztek során már látható, hogy további funkciók és eszközök is szükségesek, melyek erősítik a robot pozicionálási képességét és a megfogás biztonságát. Ezek a megállapítások indokolják a fejlesztési folyamat folytatását.



7. ábra. A terelőbója robotmanipulátorral történő megfogása

5. Robotmanipulátor Robot Operating System (ROS) 2 rendszerintegrációja

A felhasználók által delegált feladatok kiosztása (bója pontos helyre történő lerakása), a környezet állapotának megfelelő detektálás (pl. akadályok elkerülése, távolságok mérése) és az egyes alrendszerek, vagyis a mobil robotplatform, a robotmanipulátor és az érzékelők szoftveres integrációja érdekében a fejlesztés során egységes szoftveres keretrendszer alkalmazása volt a cél. Az ilyen bonyolultságú robotos rendszerek felépítéséhez biztosít megfelelő eszközöket (pl.: üzenetátadást, csomagkezelés) a nyílt forráskódú Robot Operációs Rendszer (ROS - Robot Operating System). Az elmúlt években az ROS a robotikai szoftverfejlesztés standard rendszerévé vált [3].

Az ROS-t úgy alkották meg, hogy elősegítse a kódok megosztottságát, valamint nemzetközi szinten elősegítse a robotika területén tevékenykedő fejlesztők kollaborációját. A megalkotott új rendszerek megnövekedett összetettségének kezelése egységesített modellek használatával történik. Az online tervezési algoritmusok segítségével pedig a manipulátorok és más robotikai eszközök műveleteinek koordinálása egyszerűsödik. Az ROS 2 az intelligens automatizálást támogatja, segít megvalósítani az Ipar 4.0 egyes alrendszereinek egységek platformba történő adaptálását.

Jelen fejlesztés során az Universal Robot UR3 robotkar ROS 2 meghajtószoftverének illesztése valósult meg egy, a mobil robotplatformmal integrált rendszer létrehozása érdekében. Az ROS 2 rendszer elemeinek alkalmazásával (vezérlők, szűrők stb.) megvalósult a manipulátor ROS 2 rendszeren keresztül történő vezérlése.

A robotmanipulátor és a robotplatform alacsony szintű vezérlése egyaránt TCP/IP protokollnak megfelelő kommunikáció által érhető el. Ezen kommunikáció lehetővé teszi a manipulátor és a robotplatform vezérlését és állapotkiolvasását egyaránt, így lehetőség van a robotplatform és manipulátor egységes kezelésére a magasszintű vezérlő által. Ez az előkészítés megoldást ad a mobil robotplatform és a manipulátor szinkronizált vezérlésére is.

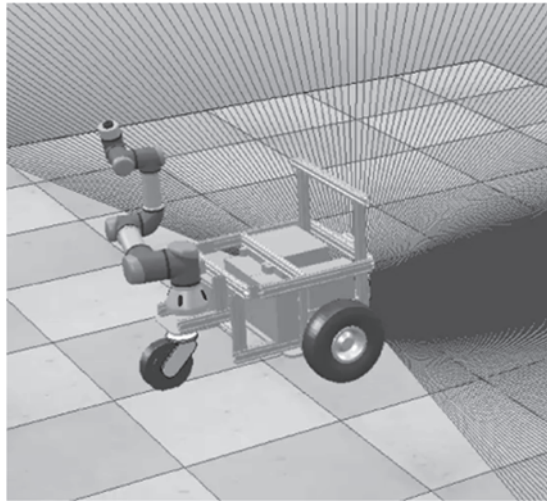
6. Számítógépes szimuláció

A fejlesztési folyamat elősegítésének érdekében a robotplatform és a robotmanipulátor fejlesztésével párhuzamosan számítógépes szimuláció összeállítása is zajlik. A számítógépes szimuláció kialakításának célja egy, a megvalósított robotplatformmal megegyező tulajdonságokkal rendelkező, azonos bemenő paraméterekre megfelelő kimenetet biztosító modell létrehozása. A szimulációalkotás első lépése a feladat szempontjából ideális számítógépes szimulációs környezet meghatározása. A szimulációs környezetnek a következő követelményeknek kell eleget tennie:

- ROS 2 kompatibilitás. A robotplatform fejlesztése során alkalmazott szoftverrendszerrel azonos rendszer alkalmazása a szimuláció esetében kiemelten fontos a szimuláció segítségével fejlesztett szoftverkomponensek átemelhetőségének biztosítása érdekében.
- Inverz kinematika kezelése. A robotkar alkalmazása miatt kiemelten fontos, hogy a számítógépes szimulációs környezet megfelelően kezelje az inverz kinematikát.
- A projekt során alkalmazott szenzorok megfelelő emulációja. A forgalomtechnikai terelőbóják manipulációja céljából fejlesztett robotplatform biztonságtechnikai lézershakker, kamera, és GPS/GNSS környezetérzékelő szenzorokkal rendelkezik, fontos ezek megfelelő szimulátoros emulációja.

A követelmények alapján kiválasztott szimulációs környezet a CoppeliaSim általános robotszimulációs szoftver [4]. A szimulációalkotás a robotplatform számítógépes geometriai

modelljének szimulációkompatibilis megalkotásával kezdődött, majd megvalósult a differenciálhajtás kinematikai modellezése. Az Universal Robot UR3 robotkar kinematikai modellezését a CoppeliaSim szimulátor tartalmazza, a kar esetében az ROS 2 rendszerhez való illesztés megvalósítása volt szükséges. Végző lépésekként megvalósult a manipulátor és a szenzorok, mint ki-bemeneti rendszerek modellezése is, elérve, hogy a manipulátorral felszerelt robotplatform adott bemeneti környezeti és felhasználói paraméterekre az elvártnak megfelelő kimenetet szolgáltatson. A szimuláció vizuális szempontból is közelíti a valós robotplatformot (8. ábra).



8. ábra. A CoppeliaSim általános robotszimulációs szoftverben megvalósított robotszimuláció

7. Összefoglaló

Jelen cikk által ismertetésre került egy forgalomtechnikai terelőbóják szállítására és manipulációjára alkalmas mobil robotplatform manipulátorának fejlesztési folyamata a számítógépes szimulációalkotást beleértve. A fejlesztési folyamatok ismertetése kitér a robotmanipulátorral szemben támasztott követelményekre, a robotkar kiválasztására, a manipulátor szerszám prototipizálására, valamint a teljes manipulátorrendszer szoftveres integrációjára. A cikk ismerteti továbbá a fejlesztés támogatása érdekében létrehozott, CoppeliaSim szimulációs környezetben létrehozott számítógépes szimulációt.

8. 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] S. Datta, R. Ray és D. Banerji, „Development of autonomous mobile robot with manipulator for manufacturing environment,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1. kötet, 1. szám, pp. 536-542, 2008.
- [2] R. Bloss, „Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programing ease, portability and cost while addressing many new applications,” *Industrial Robot: An International Journal*, pp. 463-468, 2016.
- [3] „ROS 2 Documentation: Foxy,” 2021.. [Online]. Available: <https://docs.ros.org/en/foxy/index.html>. [Hozzáférés dátuma: 12. 03. 2021.]
- [4] „Northwestern Center for Robotics and Biosystems, Getting Started with the Coppeliasim Simulator,” 17. 09. 2020. [Online]. Available: http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Getting_Started_with_the_CoppeliaSim_Simulator. [Hozzáférés dátuma: 28. 03. 2021.]

Forgalomtechnikai terelő bója vizuális észlelésen alapuló pozíció és orientáció meghatározása

Determining the position and orientation of traffic cone based on visual perception

Hollósi János^a, Markó Norbert^b, Ballagi Áron^c

^aSzéchenyi István Egyetem, Informatika Tanszék
hollosi.janos@ga.sze.hu

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

^cSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási Tanszék
ballagi@ga.sze.hu

Absztrakt: A hosszú távú célunk egy autonóm robot megalkotása, mely alkalmas arra, hogy forgalomtechnikai terelő bójákat helyezzen el egy útszakaszon, előre megadott instrukciók alapján. Jelen tanulmányban a megvalósítás alatt álló robot gépi látás alrendszerének a fejlesztése, és a jelenleg elért eredményeink kerülnek bemutatásra. A gépi látás alrendszer feladata a bóják vizuális úton történő felismerése, a robothoz képest a helyzetének és orientációjának meghatározása. A tanulmányban bemutatjuk az ennek érdekében létrehozott gépi látás algoritmusokat, szemléltetjük azok hatékonyságát, és előrevetítjük a fejlesztés következő lépéseit.

Kulcsszavak: forgalomtechnikai terelő bója, orientáció meghatározás, pozíció meghatározás, képfeldolgozás

Abstract: Our long-term goal is to create an autonomous robot capable of placing and positioning traffic diversion cones on a road section, based on predefined instructions. In this paper, we present the development of the computer vision subsystem of the robot under implementation, as well as our current results. The task of the computer vision subsystem is to visually detect the cones, determine their position and orientation with respect to the autonomous robot. In this paper, we present the machine vision algorithms developed for this purpose, illustrate their effectiveness, and anticipate the next steps of development.

Keywords: traffic diversion cone, orientation determination, position determination, image processing

1. Bevezetés

Jelen cikkünkben közös projektünk környezetérzékelési alrendszerét, annak fejlesztési lépéseit, valamint a fejlesztés során felmerülő kérdésekre alkalmazott gondolatmenetünket szeretnénk részletesen bemutatni. A projekt hosszútávú célja egy autonóm mobil robot létrehozása, mely számára a környezetről az információt főként gépi látás segítségével biztosítanánk, kiegészítve az alrendszert egyéb szenzorokból érkező információkkal. A mobil robot fő funkciói a forgalomtechnikai terelő bója (1. ábra) megjelölt célpontokra való kihordása, kihelyezése, majd jelzésre történő összegyűjtése, melyek nyomán a környezetérzékelési alrendszert megterveztük.

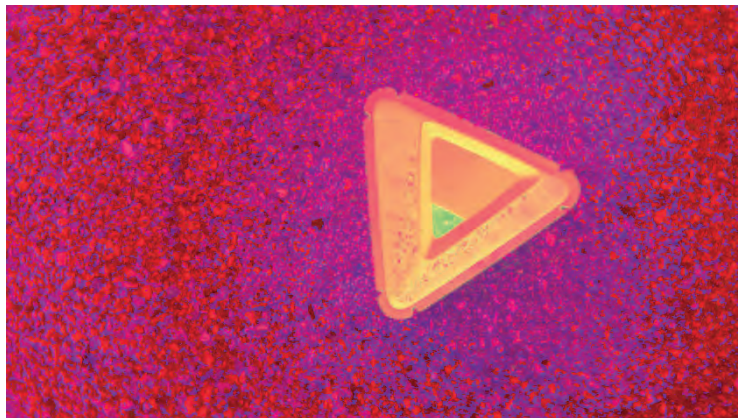


1. ábra – Az eredeti képi (RGB) bemenet

A tervezés során figyelembe vettük a számítási hatékonyságot, ami egy mobil robot esetén különösen fontos, hiszen az energiatároló kapacitás véges, és egy magas fogyasztású komponens jelentősen csökkentheti a maximális üzemidőt. Ennek okán a fedélzeti számítási egység energiafelvételét kiemelt szempontként kezeltük, így az alkalmazott algoritmusokat minél alacsonyabb számítási igénnyel próbáltuk megvalósítani. Ezen feltételeknek kiválóan megfelelnek a klasszikus, nem mesterséges intelligenciával támogatott gépi látás algoritmusok, mint például a Canny-éldetektálás és a bója alapjának detektálásához alkalmazott Hough-transzformáció. Abból kifolyólag, hogy a projekt jelenleg is fut és további algoritmusok fejlesztése is folyamatban van, a végső fedélzeti egység változhat. Jelenleg egy Nvidia Jetson TX2 platformot használunk a gépi látási feladatokra.

2. Színkonverzió, előfeldolgozás

A projektben kitűzött cél érdekében meg kellett határozni az előzetes feltételeket a bemeneti képre vonatkozóan, melyek biztosítják a hatékony és sikeres képfeldolgozást. Ezen a téren a gépi látásban általánosan is felmerülő kardinális kérdés a színtér megfelelő megválasztása. Számos helyzet adódhat képfeldolgozás során, amikor hasznosnak bizonyul a színtonkomponensek vagy színinformáció (chroma) elválasztása az intenzitásértéktől (luma). Jó példa erre a fényviszonyok megváltozására való invariancia, amely fontos szerepet játszik jelen projektünkben is. Ezt számos konverziós módszerrel elérhető, ezek közül messze a legtöbbet alkalmazott átalakítás a HSV (Hue, Saturation, Value) [1] színteret célozza meg.



2. ábra – A HSV színtérbe konvertált bemenet eredménye

Mint már említésre került az előző fejezetben, a környezetérzékelési alrendszer felépítése során az klasszikus gépi látási algoritmusokat céloztuk meg, melyek a forgalomtechnikai terelő bója detektálásának kontextusában szignifikánsan jobban teljesítenek, amennyiben a bemenetre a kép HSV színtérbe konvertálva kerül. Az előzőek okán esett a mi választásunk is erre a konverzió típusra (2. ábra). Az RGB (vagy BGR) színtérből a következő képletek szerint történik az árnyalat

$$H = \begin{cases} 60^\circ \cdot \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \cdot \text{mod}(6) \right), & C_{max} = R' \\ 60^\circ \cdot \left(\frac{G' - B'}{\Delta} + 2 \right), & C_{max} = G' \\ 60^\circ \cdot \left(\frac{G' - B'}{\Delta} + 4 \right), & C_{max} = B' \end{cases} \quad (1)$$

a telítettség

$$S = \begin{cases} 0, & C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, & C_{max} \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

és az érték

$$V = C_{max}. \quad (3)$$

, ahol H , S és V az új színrendszer egyes csatornáit, valamint R , G és B a kiindulási színrendszer csatornáit. A HSV átalakítást követően szükségünk van a fentebb bemutatott árnyalat (H), telítettség (S) és érték (V) komponensek kalibrációjára, mivel a különböző detektálandó objektumok nem ugyanazon értékeknél fognak a leginkább elszeparálódni a környezetüktől. A pontos szűrés érdekében kézzel hangoltuk be ezen komponenseket. Ehhez változatos fényviszonyok között felvételeket rögzítettünk a detektálandó objektumról, mely kiválóan elkülönül élénk színe (értéke - V) miatt a környezetétől. A hangolás közbeni színtérkonverziót egy segédalkalmazás végzi el. Az előfeldolgozott, illetve megszürt bójáról egy példa képkockát láthatunk a 3. ábrán.



3. ábra – Az előfeldolgozott kép a forgalomtechnikai terelő bójáról

3. Kontúr meghatározás

A bináris küszöbölés eredményeként előállt fekete-fehér képen a bója körvonalának a meghatározása a cél. Ennek érdekében első lépésként Canny [2] éldetektálást hajtottunk végre. Ennek kimenete látható a 4. ábrán. A Canny éldetektálás egy deriválásra épülő élkeresési módszer. Ebben a megközelítésben véges differencia hányadossal közelítettük a kép derivált értékét a következők szerint. Legyen

$$K_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

és

$$K_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

konvolúciós kernelek, valamint

$$I_x = \frac{\partial I}{\partial x} \approx K_x * I \quad (6)$$

és

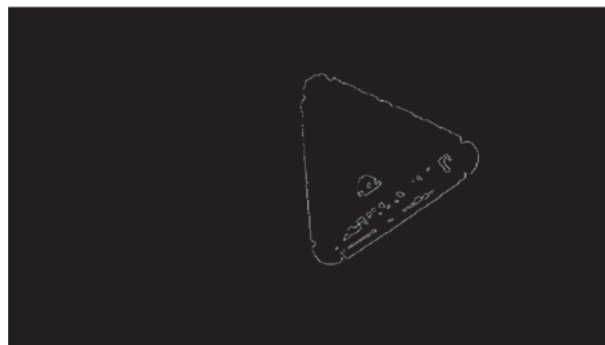
$$I_y = \frac{\partial I}{\partial y} \approx K_y * I \quad (7)$$

az x és y irányú deriváltak közelítései, ahol I a vizsgált bemeneti kép. Ezek alapján az élkép legyen

$$|G| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (8)$$

és az élek egyes pontokban vett iránya

$$\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{I_y}{I_x}\right) \quad (9)$$



4. ábra – Canny éldetektálás eredménye

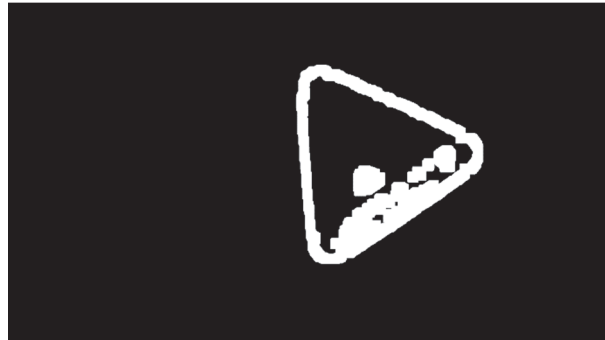
A Canny dektetorral előállított élképen morfológiai szűrést hajtottunk végre, mivel a képen kialakult kontúrok nem mindig voltak folytonosak. A kontúrok folytonossága pedig nélkülözhetetlen a bója körvonalának pontos meghatározásához. Ennek érdekében morfológiai dilataciót [3] végeztünk a képen. Legyen

$$I \oplus B = \bigcup_{b \in B} I_b \quad (10)$$

ahol I a vizsgált kép és

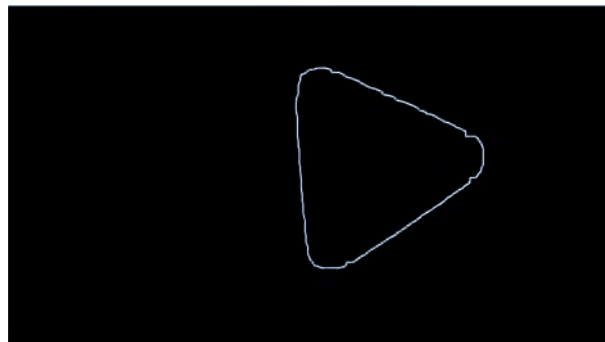
$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

a dilataciós strukturáló elem. A dilatació eredménye figyelhető meg az 5. ábrán.



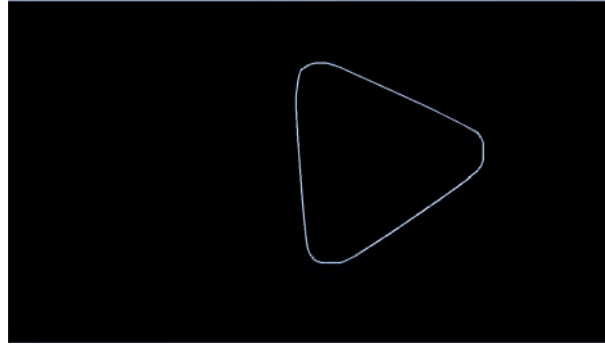
5. ábra – Dilatació eredménye

A dilatált képen Suzuki és társai [4] által fejlesztett kontúrkövetési módszer felhasználásával határoztuk meg a bója körvonalát. Mivel a zajterhelések végett a dilatált képen több független kontúr is felfedezhető, ezért a körvonal keresés eredményeként több találat is születik. Ezek közül számunkra a legnagyobb egybefüggő kontúrra van szükség, ez tartozik a bójához. A legnagyobb kontúrnak a vizualizációját szemlélteti a 6. ábra.



6. ábra – Körvonal detektálás eredménye

Az ilyen módon előállított bója körvonal szélei zajosak. Ennek eltávolítására Sklansky és társai [5] által fejlesztett minimális méretű konvex befoglaló sokszög generáló algoritmusát alkalmaztuk. Ennek eredménye látható a 7. ábrán. Az ilyen módon előállított, a körvonalat befoglaló sokszög szélei lekövetik az eredeti kontúrt, de a zajterhelés nélkül. A zaj mértéke ugyan nem nagy, de a zajszűrést követő egyenes detektálás eredményét minimális méretű zajforrás is megtévesztheti.



7. ábra – Befoglaló konvex sokszög a körvonalhoz

4. Bója alapjának detektálása

A detektált bója orientációjának realizálásához a bója alapját, mint egy egyenlő oldalú háromszöget ismerjük fel. A háromszög három oldalának ismeretében az orientáció kellő megbízhatósággal megadható. Ehhez bemenetként a kontúrdetektálás eredményeként előálló konvex befoglaló körvonalat használjuk fel bemenetként. Ezt a bináris képet konvertáljuk át a Hough [6] térbe a következők szerint. Legyen

$$r = x \cdot \cos(\varphi) + y \cdot \sin(\varphi) \quad (12)$$

szinuszoid görbe, ahol x és y a vizsgált képpont helye. Az ilyen módon megkonstruált görbe egy adott pontja megadja az (x, y) ponthoz tartozó összes egyenes egyenletét, a következők szerint.

$$y = \frac{-\cos(\varphi)}{\sin(\varphi)} x + \frac{r}{\sin(\varphi)} \quad (13)$$

A Hough térben azokon a területeken, ahol sok szinuszoid görbe metszi egymást, olyan terület található a vizsgált képen, ahol egyenes alakzat helyezkedik el. Ilyen módon a bója alapját meghatározó egyenlő oldalú háromszög három oldala meghatározható. A 8. ábrán vastagon jelölve láthatók azok a területek, ahol egyenesek találhatók. Jól látható, hogy ezek az egyenese a bója alapján határozzák meg.



8. ábra – Bója alapjának detektálása Hough transzformáció felhasználásával

5. Összefoglalás

A hosszú távú cél egy önvezető robot platform létrehozása, mely alkalmassá válik biztonsági terelő elemek hordására, megadott helyen történő elhelyezésére, és a feladat végeztével a bóják összegyűjtését is elvégzi. A jelenlegi fázisban a rendszernek a gépi látásért és környezet érzékelésért felelős alrendszerének kezdeti verziója készült el. A jelenlegi megvalósítás magában foglalja az előre definiált tulajdonságokkal rendelkező bója vizuális úton történő detektálását, helyzetének és orientációjának meghatározását. Így a robot meg tudja közelíteni, fel tudja emelni az objektumot. A fejlesztés következő lépéseként az időszak során megkonstruált algoritmusok végfelhasználási helyen történő tesztelését szükséges elvégezni, különféle körülmények és feladatok szerint. Ezen felül a jelenlegi rendszert távolsági adatok érzékelésére kell felkészíteni, melyet szintén vizuális érzékelés útján kívánunk megvalósítani.



9. ábra – A detektálás eredményének vizualizálása a bemeneti képen

6. 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] Agoston, Max K.: Computer Graphics and Geometric Modeling: Implementation and Algorithms. London: Springer. pp. 300–306, 2005.
- [2] Canny, J.: A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6):679–698, 1986.
- [3] R. Gonzalez, R. Woods: Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, pp 518 - 519, 549, 1992.
- [4] Satoshi Suzuki, Keiichi Abe: Topological structural analysis of digitized binary images by border following, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Volume 30, Issue 1, 32-46, 1985.
- [5] Jack Sklansky: Finding the convex hull of a simple polygon, Pattern Recognition Letters, Volume 1, Issue 2, 79-83, 1982.
- [6] Richard O. Duda, Peter E. Hart: Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. Commun. ACM 15, 11–15, 1972.

Az autonóm járművek fejlesztésének gazdasági szempontjai

Economic aspects of autonomous vehicle development

Gyurián Norbert ^a

^a Selye János Egyetem, Gazdaságtudományi és Informatikai Kar

gyuriann@ujs.sk

Absztrakt: Az autonóm járművek fejlődése nagy utat tett meg az elmúlt pár évtizedben és nagy eredményeket tud maga mögött. Ez a trend a közeljövőben is megmarad növelve a hatásait a világgazdaságra. Az elkövetkező időszakban egyre meghatározóbb pozíciót fog elfoglalni az autonóm járművek gyártása és a velük kapcsolatos kutatás és fejlesztés. A tanulmány bemutatja az autonóm járművekkel összefüggő ágazatok jelen helyzetét és becslések révén az autonóm járművek jövőbeli helyzetét szekunder forrásokra támaszkodva. A tanulmány célja az autonóm járművek jövőbeli helyzetének és fontosságának a bemutatása.

Kulcsszavak: autonóm járművek, fejlődés, gazdasági hatások

Abstract: The development of autonomous vehicles has come a long way in the last few decades and has great results behind it. This trend will continue in the near future, increasing its impact on the world economy. In the coming period, the production and research and development of autonomous vehicles will play an increasingly important role. The study presents the current situation of the autonomous vehicle related sectors and, through estimates, the future situation of autonomous vehicles relying on secondary sources. The aim of the study is to present the future situation and importance of autonomous vehicles.

Keywords: autonomous vehicles, development, economic impacts

1. Bevezetés

Az elmúlt években számos lépést tettek a fejlesztők a közúti közlekedés gazdaságossága, biztonságossága, kényelmessége és kihasználhatósági körének kiterjesztése érdekében. Az információs rendszerek megállás nélküli fejlődése újabb és újabb, még kiaknázatlan lehetőséget biztosít a közlekedés terén.

Az egyre növekvő automatizálás és összekapcsolhatóság révén, amely lehetővé teszi a járművek közötti, valamint a közúti infrastruktúrával és más úthasználókkal való kommunikációt, a mobilitás jelenleg egy új határt lép át. Ezt a határt többen a digitalizáció határának is nevezik. Ennek a fejlődésnek köszönhetően, a közlekedés napjainkban válaszút előtt áll. A vezető nélküli járművek ugyanúgy megváltoztatják az életünket, mint pl. a gőzmozdonyok a múltban. Az autonóm járművek által nyújtotta lehetőségeket a következő pontokban összegezhetjük:

- lecsökken a szállítási költség és átrendeződik annak szerkezete (az élő munka költsége tovább csökken, viszont új típusú költségek jelennek meg az új rendszerek fejlesztése, kezelése és szervizelése kapcsán),

- megnyithatják az utat új szolgáltatások előtt (mint a személyszállításnál, mint pedig az áruszállításnál megjelenhetnek olyan szolgáltatások, melyek az utasok kényelmét, az áruk biztonságosabb szállítását teszik lehetővé),
- új módszereket kínálhatnak az emberek és az áruk mobilitása iránti egyre növekvő igény kielégítésére szem előtt tartva a legfontosabb igényt, a személyek, ill. áruk mielőbbi célba érését,
- javíthatják azon személyek mobilitását, akik nem képesek önállóan járművet vezetni (pl. idősek vagy fogyatékkal élők), vagy akik mobilitási igényét a tömegközlekedés alacsony mértékben igényit ki,
- támogathatják a „mobilitás mint szolgáltatás” rendszereket (azaz utak, nem autók értékesítése), valamint
- hozzájárulhatnak az elektromobilitás fejlődéséhez és elterjedéséhez.

2. Anyag és módszer

A tanulmány szekunder források segítségével vizsgálja az autonóm járművek gazdasági hatásait. A vizsgálat alapjául közzétett tanulmányok és statisztikai adatok szolgálnak. A gazdasági hatások felmérésénél a kiindulási pontot már publikált és közzétett tényadatok biztosítják. A tanulmány további részében becsült adatok vizsgálata van végrehajtva, melynek célja egy jövőkép kialakítása a vizsgált problémakörben.

3. Gazdasági hatások vizsgálata

Az autonóm járművek gazdaságra gyakorolt hatása várhatóan pozitív lesz. Ugyanakkor várható, hogy bizonyos iparágakat negatívan érint majd. Példaként a biztosítási ágazatot említhetjük, mely valószínűleg jelentős gazdasági veszteségeket szenved majd el a közúti biztonság javulása miatt. Ezzel szemben a digitális ágazat várhatóan kiemelkedő növekedést könyvelhet majd el.

Sok szakember törekszik az autonóm járművek gazdaságra gyakorolt hatásának számszerűsítésére. Csak az Egyesült Királyság számára becsülik ezeket az előnyöket éves szinten 51 milliárd fontra 2030-ig [2]. Ez a számszerűsített előny több tételből adódik:

- 40 milliárd font értékben a fogyasztóktól (20 milliárd font az utazási idő lecsökkent értékéből, 15 milliárd font a hatékonyabb utakból és 5 milliárd font a lecsökkent további költségekből, mint pl. a biztosítási, üzemeltetési és parkolási költségeket),
- 2 milliárd font értékben a termelői nyereségből a megnövekedett keresletből eredően,
- 16 milliárd font értékben a lecsökkent utazási és szállítási költségből, a telekommunikációs adatforgalom növekedéséből, az olyan ágazatokból származó bevételek növekedéséből, mint a digitális média, az elektronika stb.,
- 2 milliárd font az adóztatásból,
- 2 milliárd font pedig a biztonság növeléséből (az emberi hibákkal kapcsolatos balesetek 50%-os csökkenését feltételezve);
- amelyből 11 milliárd fontot diszkontálnak. Ez az érték megfelel az infrastrukturális beruházásoknak és az útfenntartási költségek növekedésének.

A Strategy Analytics és az Intel által 2017-ben végzett tanulmány 2050-ben világszerte 7 trillió dolláros lehetőséget fedezett fel a teljesen automatizált járművekhez kapcsolódó szolgáltatásokból származó bevételekből, amelyből 1,7 billió dollár felelne meg Európának [7]. Több tanulmány született, melyben az autonóm járművek gazdaságra gyakorolt hatását mérték fel. Amennyiben nagyobb körben vizsgálnánk meg ezeket, nagy eltérésekre lehetnénk

figyelmesek, ami egyben a téma körüli nagy bizonytalanságot is jelzi. A becslések mindegyikében tett feltételezések szintén nagymértékben eltérhetnek, csakúgy, mint a hatások figyelembe vett időkerete. Valamely becsléseknél lényeges módszertani különbségek észlelhetők, vagy nem túl részletes (hiányos) a gazdasági elemzési keret, vagy a becslések alátámasztása.

| <i>Mutatók</i> | <i>Autóipar</i> | <i>Elektronika és szoftver</i> | <i>Távközlés, adatszolgáltatások és digitális média</i> | <i>Áruszállítás</i> |
|---|-----------------|--------------------------------|---|---------------------|
| Alkalmazottak száma | 5 271 011 | 3 909 927 | 2 788 191 | 3 333 370 |
| Forgalom (millió euró) | 2 262 538 | 785 389 | 581 094 | 460 639 |
| Vállalkozások száma | 372 522 | 714 234 | 429 522 | 588 618 |
| Hozzáadott érték (millió euró) | 359 856 | 294 335 | 243 835 | 141 081 |
| Az EU összes foglalkoztatottjainak számán való részesedés | 2,45% | 1,82% | 1,30% | 1,55% |
| Az EU teljes bruttó hozzáadottértékén való részesedés | 3,15% | 2,47% | 2,06% | 1,37% |

1. ábra. Vizsgált ágazatok mutatói. Forrás: Saját szerkesztés, [4]

Az EU autóipari jelentősége egyértelműen tükröződik abban a tényben, hogy több mint 5 millió embernek nyújt munkahelyet, beleértve a járműgyártás területén mintegy 3 millió munkahelyet, a járművek értékesítésében pedig közel 2 millió munkahelyet, az EU teljes foglalkoztatásának pedig 2,45%-át biztosítja. Az EU a világ egyik legmeghatározóbb gépjárműgyártói közé tartozik. Az ágazat különös jelentőséggel bír az upstream és downstream iparágakkal való kapcsolata miatt is (pl. acélipar, textilipar, információs és kommunikációs technológiák, mobilitási szolgáltatások). Csak 2015-ben az EU több mint 16 millió személygépjárművet és csaknem 2,5 millió haszongépjárművet gyártott, ami a globális gépjármű-gyártás 23%-át teszi ki. Jelenleg mintegy 290 millió jármű van az európai utakon, ebből 38 millió haszongépjármű. Az 1. ábrán a további kapcsolódó ágazatok mutatói is be vannak mutatva, mint az elektronika és a szoftver, a távközlés és az áruszállítás.

| <i>Mutatók</i> | <i>Személyszállítás</i> | <i>Biztosítás</i> | <i>Karbantartás és javítás</i> | <i>Energetika</i> |
|---|-------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| Alkalmazottak száma | 2 908 031 | 485 117 | 1 521 382 | 941 130 |
| Forgalom (millió euró) | 394 428 | 431 790 | 140 000 | 1 203 380 |
| Vállalkozások száma | 410 967 | 2 348 | 469 141 | 90 000 |
| Hozzáadott érték (millió euró) | 174 958 | 63 707,9 | 44 541,2 | 180 686,7 |
| Az EU összes foglalkoztatottjainak számán való részesedés | 1,35% | 0,23% | 0,71% | 0,44% |
| Az EU teljes bruttó hozzáadottértékén való részesedés | 1,69% | 0,77% | 0,41% | 1,54% |

2. ábra. Vizsgált ágazatok mutatói. Forrás: Saját szerkesztés, [4]

További kapcsolódó ágazatok közé sorolható a személyszállítás, biztosítás, karbantartás és javítás, valamint az energetika. Az említett ágazatok mutatói a 2. ábrán vannak bemutatva. Becslések szerint, az EU összes személyszállítási tevékenysége több, mint 6,5 billió utaskilométert („pkm”) tesz ki beleértve az EU-n belül megvalósuló légi és tengeri szállítást is.

Az emberek túlnyomó többsége autóval közlekedett, ami a megvalósult forgalom 71,5%-át tette ki. Az EU-n belüli légi közlekedés 9,8%-ot tett ki, ezt követték az autóbuszok 8,2%-kal, a vasutak pedig 6,7%-kal.

Az autonóm járművek jelentős hatással fognak bírni az energiaellátó rendszerre, mivel a legtöbb közülük várhatóan elektromos meghajtású lesz. A villamosenergia-termelés és az ezzel kapcsolatos hálózat kezelése szintén fontos gazdasági tevékenység már napjainkban is, mely fontosságának növeléséhez az autonóm járművek még inkább növelni fogják. Ezért fontos lesz figyelemmel kísérni az autonóm járművek ezen ágazatra gyakorolt hatásait a jövőben.

Az ágazatok szerinti gazdasági hatások 2025-ben és 2050-ben a 3. ábrán figyelhetők meg.

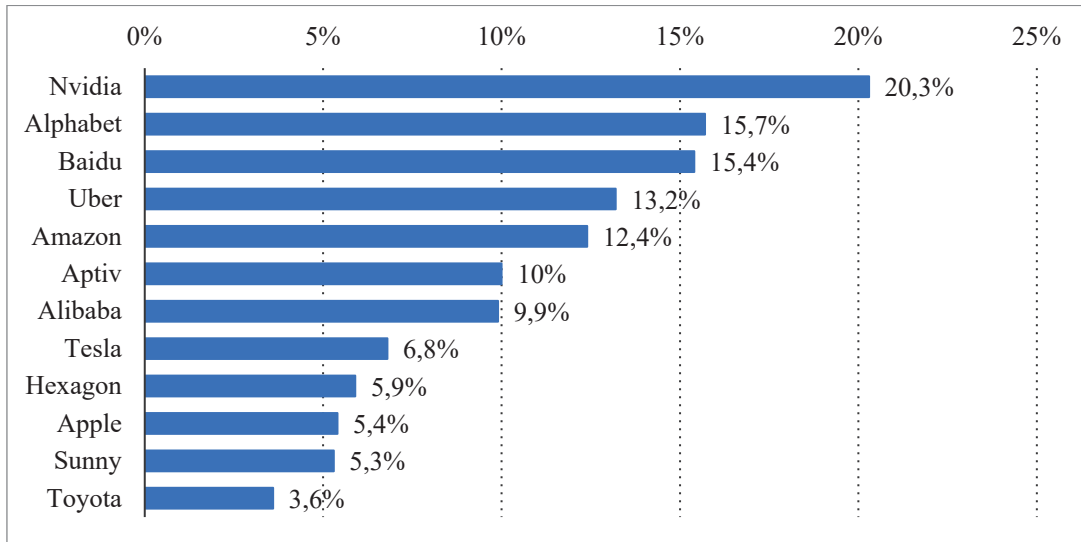
| Ágazatok | Alapvonal | | Hatások 2025 - 2050 scenáriókban | |
|--|-----------|------|----------------------------------|---------|
| | 2025 | 2050 | 2025 | 2050 |
| Autóipar (milliárd euró) | 505 | 605 | 540-625 | 645-700 |
| Elektronika és szoftver (milliárd euró) | - | - | 85-175 | 50-65 |
| Távközlés, adatszolgáltatások és digitális média | - | - | ↑ | ↑ |
| Áruszállítás | - | - | ↑↓ | ↑↓ |
| Személyszállítás | - | - | ↓ | ↓ |
| Biztosítás (milliárd euró) | - | - | 95-120 | 80-115 |
| Karbantartás és javítás | - | - | ↓ | ↓ |
| Energia (milliárd euró) | 1 | 7 | 11-57 | 33-130 |

3. ábra. Ágazatok szerinti gazdasági hatások 2025-ben és 2050-ben [4]

Az automatizált mobilitás hatásaival kapcsolatban, ahogy azt már említettük, több becslés készült. Összegezve elmondható, hogy [4]

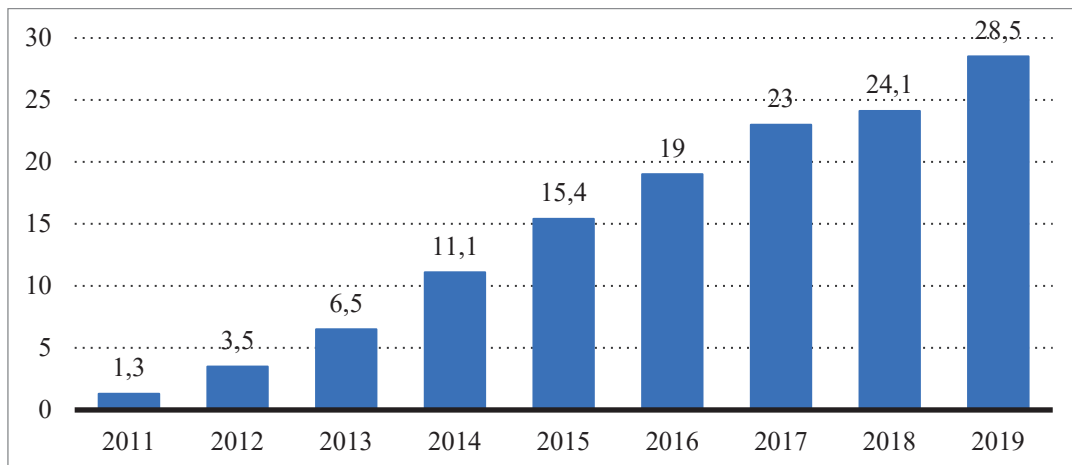
- a gazdasági hatások egyrészt mennyiségi hatásoknak (pl. személygépkocsik értékesített számának növekedése), másrészt pedig strukturális hatásoknak (pl. telekommunikációs szolgáltatások növekedése és a biztosítási költségek csökkenése) minősülnek,
- az automatizált járművek által generált pozitív hatások eltérőek lesznek az egyes tagállamokban (pl. az autóipar, az elektronika és a szoftverek főleg azokra az országokra lesznek pozitív hatással, ahol az autóipar, valamint a K&F található),
- egyéb heterogén hatások az ágazat jelentős átszervezéséhez vezethetnek, tekintettel arra, hogy a munkaerőköltségek jelentős költségtényezők (pl. az áruszállítás),
- további hatások pedig homogénebb módon érintik majd a tagállamokat (pl. a távközlés, a biztosítás vagy a karbantartás és javítás),
- legrelevánsabb gazdasági hatással az elektronika és a szoftver ágazatnál kell számítani, ezért az EU-nak jelentős versenyben kell tudnia helytállni olyan globális szereplőkkel, mint a Google, az Apple stb.,
- a távközlés, az adatszolgáltatások és a digitális média ágazatai jelentős hasznot húznak majd az autonóm járművek fejlesztéséből. Továbbá szükséges megjegyezni, hogy az ágazat kapacitásproblémákkal szembesülhet, valamint azt is, hogy fontos infrastruktúrális beruházásokra lesz majd szükség,
- az autonóm járművek miatti villamosenergia-értékesítés növekedését az egyéb üzemanyag-kiadások (elsősorban az olajtermékek) csökkenésének fényében kell szemlélni. Az autonóm járművek fejlesztése együtt jár az elektromos járművek fejlesztésével, és módosítja az autók üzemanyag-felhasználásának struktúráját. Ezért az áram-kiskereskedők nyertesekként, az olajtermék-kiskereskedők pedig vesztesekként jelennek meg ennek az átmenetnek.

A következőkben további gazdasági mutatók vannak bemutatva. A következő két ábrán tényleges adatokat, majd becsült adatok vannak ismertetve. Az autonóm járművek fejlesztésében nagyon sok vállalat érdekelt világszerte. A 4. ábrán azok a vállalatok találhatók, melyek az értékesítésből befolyt hozamuk nagy részét kutatásra és fejlesztésre fordítják.



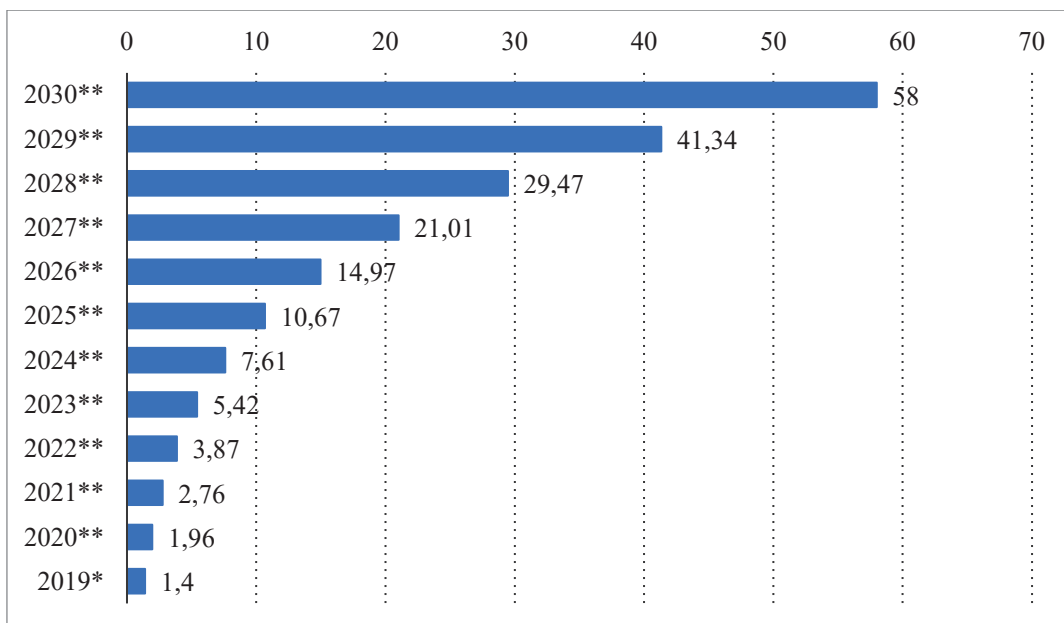
4. ábra. Vezető vállalatok az autonóm járművek területén 2018-ban világszerte, a K + F és az értékesítés aránya alapján [1]

Napjainkban is már nagyon sok jármű rendelkezik beágyazott tematikával. Ebben az esetben olyan szoftverre kell gondolni, mely legtöbb esetben nem képes autonóm manőverek végrehajtására, viszont az autonóm járművek bizonyos alacsonyabb szintjét képviseli. Az 5. ábrán az említett szoftverrel rendelkező járművek értékesítési mennyiségének alakulása figyelhető meg.



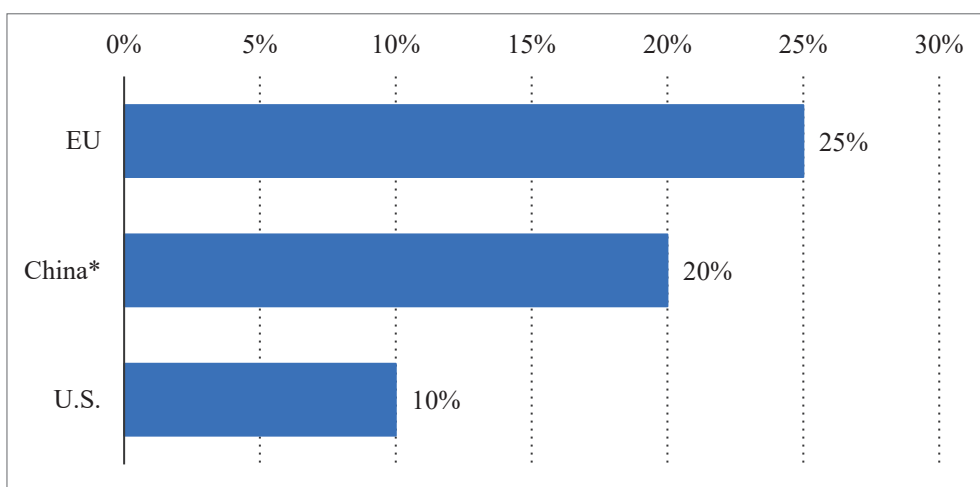
5. ábra. Beágyazott telematikával rendelkező autók globális értékesítése 2011 és 2019 között (millió egységekben) [3]

Az autonóm járművek arányának növekedését a teljes járműparkon támasztják alá a 6. ábrán bemutatott becslések is, melyen megfigyelhető a vizsgált járművek értékesített számának várható növekedése.



6. ábra. Autonóm járművek várható eladása világszerte 2019 és 2030 között (millió egységben) [6]

A 7. ábrán a világ három legnagyobb és legmeghatározóbb járműparkkal rendelkező régió van megvizsgálva. Ahogy azt az ábrán jól láthatjuk, az EU-ban várható az autonóm járművek legnagyobb mértékű bevezetése. A becslések szerint a járműpark 25%-át már autonóm járművek fogják alkotni 2030-ra. A második helyen Kína helyezkedik el 20%-os aránnyal. A harmadik helyen pedig az Amerikai Egyesült Államok 10%-al.



7. ábra. Autonóm és automatizált járműértékesítési részesedése választott piacon 2030 [5]

A 8. ábrán látható a teszt pályákkal rendelkező államok listája, mely egy folyamatosan bővülő lista. Mint láthatjuk Magyarország egy teszt pályával, Csehország pedig már két teszt pályával is rendelkezik. Szlovákia viszont még nem rendelkezik külön az autonóm járművek tesztelésére szolgáló teszt pályával. Napjainkban a Slovakia Ring versenypálya adottságai vannak kihasználva az autonóm járművek tesztelésére. Ezen tevékenységeket a pozsonyi Műszaki Egyetem kutatócsoportja végzi.

Tekintettel a tesztelés fontosságára, nagyon fontos, hogy a tesztelésbe minél több vállalat is bekapcsolódjon. Így a tesztelés költségeit nem csak egy intézménynek kell viselnie, valamint a megszerzett adatokat/ismereteket több személy is tudja hasznosítani.

| <i>Ország</i> | <i>A járművek teszteléséhez szükséges pályák száma</i> | <i>Ország</i> | <i>A járművek teszteléséhez szükséges pályák száma</i> |
|---------------|--|--------------------|--|
| Ausztrália | 2 | India | 2 |
| Ausztria | 2 | Olaszország | 2 |
| Argentína | 1 | Japán | 2 |
| Belgium | 1 | Új-Zéland | 1 |
| Brazil | 8 | Dél-Afrika | 1 |
| Kanada | 2 | Spain | 2 |
| Kína | 2 | Svédország | 7 |
| Finnország | 5 | Svájc | 1 |
| Franciaország | 6 | Tajvan | 1 |
| Németország | 7 | Egyesült Királyság | 3 |
| Magyarország | 1 | USA | 28 |

8. ábra. Autonóm járművek tesztelésére alkalmas pályákkal rendelkező államok. Forrás: saját szerkesztés, [8]

Befejezés

Az autonóm járművek bevezetésével (nagy mértékben kötődik az elektromos járművekhez) nagy valószínűséggel számíthatunk a közúti torlódások, a kibocsátott károsanyagok és a halálos kimenetű közúti balesetek számának csökkenésére. Az autonóm járművek beépülése a közlekedési rendszerbe hosszú átmeneti időszak során valósul majd meg. Ebben az időszakban nagy hangsúlyt kell majd fektetni a járművek és a forgalomirányítás, a köz- és magánadatok, a tömeg és egyéni közlekedés, valamint a közlekedés minden résztvevő és mód közötti kapcsolatra.

Az EÚ napjaink egyik legnagyobb autóiipari exportőre. A területén elhelyezkedő vállalkozások folyamatosan profitálnak az autóiipari ágazat dinamikus növekedéséből. Az új technológiák és szolgáltatások fejlesztése magas szintű beruházásokat igényel, és ebben az összefüggésben új munkahelyek jönnek létre. A közeljövőt tekintve, ez a trend egyre inkább erősödik majd. Szükséges megemlíteni, az autonóm járművek fejlődésével kapcsolatos további hatásokat, melyek alapvetően pozitív hatásokkal bírnak majd az új munkahelyek számára. Szükséges viszont megemlíteni az átképzés szükségességét is (pl. a hivatásos járművezetőknek kezdetben lehetőséget kell biztosítani más feladatok ellátására, vagy felkészíteni más szakma végzésére).

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] Future technologies: Investing in the second machine age, *Morgan Stanley Research* (2019), 30. oldal, elérhető: <https://advisor.morganstanley.com/the-breakwater-group/documents/field/b/br/breakwater-group/Investing%20in%20the%20Second%20Machine%20Age.pdf> (cit. 2021.06.14.).

- [2] John Leech, Gerard Whelan, Mukarram Bhaiji, Mike Hawes és Konstanze Scharring: Connected and Autonomous Vehicles - The UK Economic Opportunity, *KPMG and SMMT DRIVING THE MOTOR INDUSTRY*, (2015), elérhető: <https://home.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/04/connected-and-autonomous-vehicles.pdf> (cit. 2021.06.14.).
- [3] Jon Moore és Nat Bullard: BNEF Executive Factbook – Power, transport, buildings és industry, commodities, food and agriculture, capital, *MarkLines* (2020), 41. oldal, elérhető: https://data.bloomberglp.com/promo/sites/12/678001-BNEF_2020-04-22-ExecutiveFactbook.pdf?link=cta-text. (cit. 2021.06.14.).
- [4] Maria Alonso Raposo, Monica Grosso, Jacques Després, Enrique Fernández Macías, Maria Cristina Galassi, Alois Krasenbrink, Jette Krause, Lorenzo Maria Levati, Andromachi Mourtzouchou, Bert Saveyn, Christian Thiel és Biagio Ciuffo: An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe - Effects of automated driving on the economy, employment and skills, EUR 29226 EN, *Publications Office of the European Union*, Luxembourg (2018), ISBN 978-92-79-85857-4, doi:10.2760/777, JRC111477
- [5] PwC: The 2019 Strategy & Digital Auto Report, (2019), 26. oldal, elérhető: <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/insights/2019/digital-auto-report/digital-auto-report-2019.pdf> (cit. 2021.06.14.).
- [6] Research and Markets: HD Map for Autonomous Vehicles Market by Solution (Cloud-Based & Embedded), Level of Automation, Usage (Passenger & Commercial), Vehicle Type, Services (Advertisement, Mapping, Localization, Update & Maintenance), & Region - Global Forecast to 2030, Projected global sales of autonomous vehicles 2019-2030, (2019)
- [7] Roger Lanctot: Accelerating the Future: The Economic Impact of the Emerging Passenger Economy, *Strategy Analytics*, (2017), elérhető: <https://newsroom.intel.com/newsroom/wp-content/uploads/sites/11/2017/05/passenger-economy.pdf> (cit. 2021.06.14.).
- [8] The List of Automotive Proving Grounds for Vehicle Testing, (2021), elérhető: <https://dewesoft.com/daq/list-of-automotive-proving-grounds#> (cit. 2021.06.14.).

Önvezető járművek tesztelése közutakon a világ különböző országaiban - felkészültség, korlátozások, eredmények

Testing of self-driving vehicles on public roads in different countries of the world - readiness, limitations, results

Végh Ladislav^a

^a Selye János Egyetem, Komárno, Szlovákia
veghl@ujis.sk

Absztrakt: Az önvezető járművek az utóbbi években jelentős fejlődésen mentek keresztül, aminek köszönhetően közutakon való tesztelésük, vagy akár már gyakorlati alkalmazásuk is megfigyelhető. A cikk első részében tömören összefoglaljuk a gépjárművek automatizáltságának szintjeit, majd kitérünk az önvezető járművek néhány olyan jelentősebb balesetére, melyek közutakon fordultak elő. Az önvezető járművek közutakon való megjelenésére fel kell készülnie úgy az egyes országoknak, mint az autonóm járművek gyártóinak. A tanulmány további részében kitérünk egy olyan, évente megjelenő jelentés bemutatására, amely rangsorolja 30 ország felkészültségét az önvezető járművek bevezetésére. Összefoglalunk néhány olyan jelentős változást, amely befolyásolhatja az önvezető járművek közutakon való megjelenését az egyes országokban. Végezetül egy másik, Kaliforniában évente megjelenő jelentés alapján összefoglaljuk, hogy melyik gyártók járművei teljesítettek a legjobban a közutakon való tesztelések során.

Kulcsszavak: önvezető járművek, tesztelés közutakon, felkészültség és korlátozások

Abstract: Self-driving vehicles have undergone significant development in recent years. Nowadays, we can observe their testing on public roads or even their usage for practical applications. In the first part of the article, we briefly summarize the levels of automation of vehicles. Next, we cover some of the major accidents of self-driving cars that have occurred on public roads. Both countries and autonomous vehicle manufacturers need to be prepared to introduce self-driving vehicles on public roads. In the remaining part of the paper, we present an annual report that ranks the readiness of 30 countries to introduce self-driving vehicles. We summarize some of the significant changes that may affect the appearance of self-driving vehicles on public roads in some countries. Finally, based on another report published annually in California, we summarize which manufacturers' vehicles performed best on public road tests.

Keywords: self-driving vehicles, testing on public roads, readiness and limitations

1. Bevezetés

Annak ellenére, hogy az önvezető járművek technológiája az elmúlt években sokat fejlődött, még mindig nem érte el a tökéletes automatizáltság szintjét. Mindezek többek között a közutakon való tesztelés során végzett vizsgálatok eredményein is láthatók. Ahhoz azonban, hogy az utakon elterjedjenek az önvezető járművek, nem csak az autóknek kell elérniük a megfelelő fejlettségi szintet, fontos hogy az országok is fel legyenek készülve úgy a megfelelő jogszabályok megalkotásával, mint az infrastruktúra kialakításával is.

A jelen tanulmány elején összefoglaljuk a járművek automatizáltságának szintjeit, majd röviden kitérünk a közúton való tesztelés és használat során előfordult néhány eddigi balesetre. A tanulmány következő részében azzal is foglalkozunk, hogy egy évente megjelenő felmérés alapján melyek azok az országok, melyek a legjobban felkészültek az önvezető járművek bevezetésére. Végül kitérünk arra, melyik vállalat járművei teljesítettek a legjobban Kalifornia közutjain való tesztelések során.

2. Járművek automatizáltságának szintjei

A Society of Automotive Engineers (SAE) szabványban definiálta a járművek automatizáltságának szintjeit a következőképpen [1][2][3]:

- *0. szint: Nincs automatizáltság (No driving automation).* Manuális vezérlés, a járművezető végzi az összes feladatot: kormányozást, gyorsítást, lassítást, stb. Az ilyen járművek is tartalmazhat olyan rendszereket, melyek nem kapcsolódnak közvetlenül a járművezetéshez, pl. vészfékező rendszert.
- *1. szint: Járművezető támogatása (Driver assistance).* A rendszer segíti a járművezetőt a kormányzási, gyorsítási vagy lassítási műveletben.
- *2. szint: Részleges automatizáltság (Partial driving automation).* A rendszer átveheti a kormányzási, gyorsítási vagy lassítási műveleteket. A vezető folyamatosan figyeli az összes műveletet és szükség esetén bármikor visszaveheti az irányítást.
- *3. szint: Feltételes automatizáltság (Conditional driving automation).* Itt már a szoftver működteti a legtöbb vezetési feladatot, de az emberi beavatkozás még mindig szükséges.
- *4. szint: Magas automatizáltság (High driving automation).* A szoftver végzi el az összes vezetési műveletet, azonban csak GPS-szel, mobilhálózattal korlátozott kisebb területen vagy egy adott útvonalon. Emberi beavatkozás nem szükséges, de lehetséges.
- *5. szint: Teljes automatizáltság (Full driving automation).* A jármű vezető nélkül is képes a közlekedésben való részvételre, bármilyen úton, bármilyen körülmények között. Itt már semmilyen emberi beavatkozás vagy felügyelet nincs.

Míg a 0-2 szintű automatizáltságnál a gépjárművezető feladata a környezet folyamatos figyelése, a 3-5 szintű automatizáltságnál ezt már a rendszer veszi át [3].

Némely országokban jelenleg már találkozhatunk a közutakon 4. szintű automatizáltsággal ellátott autóbuszjáratokkal (pl. Norvégia) vagy teherautókkal (pl. Svédország) melyek egy pontosan megadott útvonalon közlekednek. [4]

A Waymo vállalat több mint 20 millió mérföldes tesztelés után 2020-ban kezdte elindítani taxi szolgáltatását Phoenix, Arizona, USA egyes részein a 4. szintű automatizáltsággal rendelkező, biztonsági sofőr nélküli járműveivel. A taxi szolgáltatás egyelőre csak egy korlátozott területen belül érhető el. [5].

3. Autonóm járművek balesetei közutakon

Bár az autonóm járművek tesztje történhet tesztpályákon, a közutakon való tesztelés mutatja meg igazán mennyire alkalmazható a valós közlekedésben, változatos körülmények között. Amennyiben az autonóm járművek közutakon közlekednek, figyelembe kell venni, hogy más

gépjárművek, kerékpárosok, gyalogosok is a közlekedés részei. Az önvezető autók tesztelése közutakon így jóval nagyobb kihívásnak tűnhet, amely nagy felelősséggel jár. Még ha az önvezető járművek szoftvereinek sikerül is minden közlekedési szabályt betartaniuk, folyamatosan követni és megfelelően kiértékelni a környezetüket, továbbá figyelemmel kísérni a közlekedés többi résztvevőjét, akkor is előfordulhatnak olyan balesetek, melyeket nem sikerül elkerülniük.

Néhány, az autonóm autók által okozott közúti baleset [6]:

- 2016 februárjában a Google Lexus SUV önvezető járműve alacsony sebességgel behajtott egy autóbusz oldalába. A balesetben senki nem sérült meg. Korábban a Google önvezető járművei nem okoztak semmilyen balesetet, ez idáig mindig a másik fél (sofőr által vezetett jármű) miatt volt a baleset [7].
- 2018 november 20-án Tempe-ben (Arizona, USA) az Uber önvezető járművének tesztelése közben annak ellenére, hogy a járműben biztonsági sofőr is volt, elütött egy kerékpárját toló hölgyet, Elaine Herzberget, aki a kórházban belehalt sérüléseibe. Az Uber önvezető járműve korábban is már részt vett 37 kisebb balesetben [8].
- 2016 júniusában és 2019 márciusában a Tesla Model S és Tesla Model 3 fatális balesetet okozott autópilóta módban. Mindkét esetben a sofőr meghalt [6].

Átlagosan az USA-ban egy végzetes baleset történik 94 millió mérföldenként (151 millió kilométerenként), míg a világban egy végzetes baleset fordul elő 60 millió mérföldenként (97 millió kilométerenként). A Tesla elmondásai szerint, az autópilóta több mint 130 millió mérföldet (209 millió kilométert) tett meg mielőtt az első végzetes balesetet okozta. A Tesla autópilótája azonban nem hasonlítható össze ilyen módon a gépjárművezetők által okozott balesetekkel, mivel az autópilóta üzemmód elsősorban autópályákon, országutakon van használva [6].

Egy 2015-ös tanulmány szerint bár az autonóm járművek összességében több balesetben vesznek részt (9.1 baleset egy millió mérföldenként), mint a hagyományos gépjárművek (4.1 baleset egy millió mérföldenként), fontos megemlíteni, hogy az esetek túlnyomó többségében nem az autonóm jármű okozza a balesetet. Továbbá, az autonóm járművek balesetei alacsony sebesség mellett következnek be, a balesetek általában jóval kisebbek, mint a hagyományos gépjárművek közötti balesetek [9].

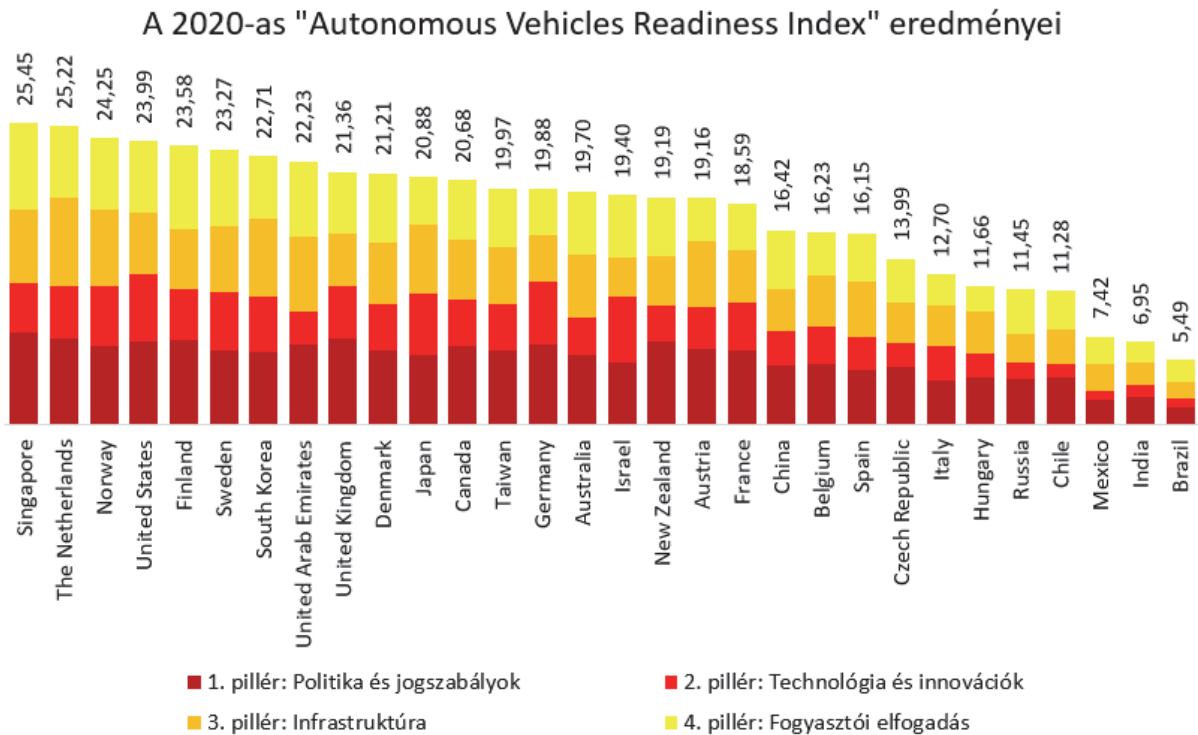
Egy másik, 2020-as tanulmány megemlíti, hogy az autonóm járművek a jövőben nagymértékben csökkenthetik a balesetek számát. Az önvezető járművek gyártói és pártolói szerint a közúti balesetek 94%-a emberi hiba miatt következik be, és ezek negyedénél a sofőr figyelmetlensége okozza a balesetet. Bár ezeket a statisztikai adatokat többen is vitatják, széles körben elfogadott, hogy az autonóm járművekbe beépített rendszerek biztonságosabbá tehetik a közlekedést [10].

Mivel az autonóm rendszereket tartalmazó járművekben a korábban járművezető által ellátott funkciókat a beépített rendszer látja el, a járművezető szellemi és fizikai megterhelése csökken. Ezáltal nem csak a gépjármű üzemanyag fogyasztása csökkenhet, de elmondhatjuk, hogy potenciálisan biztonságosabbá válik a közlekedés is [1].

4. 30 ország autonóm járművekre való felkészültségének összehasonlítása

A KPMG 2020 Autonomous Vehicles Readiness Index (AVRI) [4] egy eszköz, amely segít felmérni az autonóm járművekre való felkészültség szintjét 30 országban. Az évente megjelenő

jelentésben 28 mérőszám figyelembe vételével rangsorolja az országokat. A 28 mérőszám négy pillérbe van kategorizálva: politika és jogszabályok (7 mérőszám), technológia és innovációk (9 mérőszám), infrastruktúra (6 mérőszám) és fogyasztói elfogadás (6 mérőszám). Az 1. ábra szemlélteti a 30 ország összesített pontszámait és rangsorolását. Ebből láthatjuk, hogy a rangsor elején Szingapúr, Hollandia, Norvégia, USA, Finnország állnak. A hozzánk közeli országok közül a ranglistában szerepel: Ausztria a 18. helyen, Csehország a 23. helyen, míg Magyarország a 25. helyen.



1. ábra. Országok rangsorolása a KPMG 2020 Autonomous Vehicles Readiness Index (AVRI) alapján

A 2020-as jelentésből az is kiderült, hogy a több országban, nagyobb mértékben is javultak az autonóm járművek közutakon való tesztelésének szabályozásai. Ezekből a teljesség igénye nélkül megemlítünk néhányat.

Szingapúr városállam kiterjesztette az autonóm járművek tesztelését az összes közútra Nyugat-Szingapúrban (ez kb. 1000 kilométernyi közút), továbbá 2022-től szeretné három körzet autóbusz közlekedését sofőr nélküli autonóm járművekkel megoldani [4].

Hollandia jelentősen fejlesztette az autonóm járművek működtetéséhez szükséges infrastruktúrát. 2019-ben 60 új régióra bővítette ki az olyan okos közlekedési eszközök (pl. jelzőlámpák) alkalmazását, melyek vezeték nélküli hálózaton küldik el az állapotukat az autonóm járműveknek. Hollandia 5G mobilhálózata is nagymértékben fejlődött [4].

Norvégia 2019-ben az autonóm járművek tesztelésétől azok valós alkalmazására tért át. Osló régióiban bevezettek 4. szintű automatizáltsággal rendelkező sofőr nélküli autóbuszjáratokat (2. ábra). Az autonóm járművek maximális megengedett sebességét közutakon megnövelték 20 km/h-ra 16 km/h-ról, és tervezik annak jövőbeli növelését 25 km/h-ra [4].



2. ábra. Ruret közlekedési társaság autonóm buszjárata [11]

Svédország kiszélesítette az autonóm járművek tesztelését közutakon, megnövelte az ilyen járművek maximális sebességét 80 km/h-ra és engedélyezte a járművek felügyelő személyzetének, hogy levegye a kezét a kormányról. 2019 májusában sofőr és vezetőfülke nélküli, 4. szintű automatizáltsággal rendelkező elektromos teherautó (Einride Pod, 3. ábra) közlekedett Jönköpingben a DB Schenker cég raktáruháza és terminálja között. A stockholmi Lidl szupermarket-hálózat szintén ilyen járművek bevezetését tervezi áruszállítás céljából [4][12].



3. ábra. Vezetőfülke nélküli Einride Pod elektromos teherautó [12]

Dánia engedélyezte az autonóm járművek tesztelését bármelyik közúton, azonban az ilyen jellegű kérvények elbírálása általában egy évig is eltarthat, továbbá az engedélyhez a biztonságot felmérő harmadik fél jóváhagyása is szükséges. Ezen szempontokat figyelembe véve a szomszédos Svédországban és Norvégiában sokkal könnyebb az autonóm járművek tesztelésének engedélyezése közutakon [4].

Az éves jelentés [4] Magyarországgal kapcsolatos része kiemeli a 265 hektáron elhelyezkedő ZalaZone tesztpálya megnyitását, amely a Magyar Telekom által biztosított modern 5G mobilhálózat lefedettséggel rendelkezik. A jelentés továbbá kiemeli több külföldi központú, autonóm járművek gyártásával foglalkozó cég Magyarországon végzett kutatásait is (pl. Continental, Thyssenkrupp, Knorr-Bremse, Bosch, Jaguar Land Rover, Almotive, Here Technologies).

5. Önvezető autók gyártóinak kaliforniai tesztjei

Az Egyesült Államok Kalifornia államának gépkocsikért felelős szervezete, a DMV (Department of Motor Vehicles) 2014-ben engedélyezte az önvezető járművek biztonsági személy jelenléte melletti tesztelését az állam közutjain, majd 2018-tól a járművezető nélküli tesztelést is engedélyezte [13].

A [10] tanulmányban részletesen elemzett 1. táblázatban láthatjuk a Kaliforniaiában bevezetett biztonsági szabályozások összehasonlítását másik két olyan állam szabályozásaival (Viktória, Ausztrália; Németország), melyek szintén igyekeznek az autonóm járművek közutakon való tesztelésével elől járni [10].

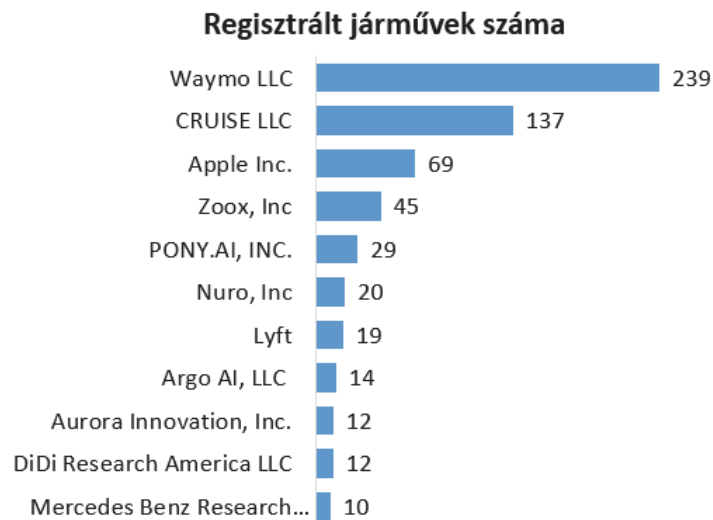
| | | Viktória, Ausztrália | Kalifornia, USA | Németország |
|------------------|-----------------------------------|---|--|---|
| Biztonság | Biztonsági sofőr jelenléte | Kötelező | Nem szükséges | Kötelező |
| | Biztonsági menedzment | Biztonsági terv szükséges | Az önbiztonsági értékelésnek meg kell felelnie a szövetségi gépjármű-biztonsági előírásoknak; működő biztonsági terv szükséges | Folyamatos digitális kommunikáció ajánlott; csak a 3. szintű automatizáltság van szabályozva; a magasabb szintű automatizáltsággal rendelkező járművekre az engedélyeket egyedi elbírálás alapján adják meg |
| | Adatok és jelentések | A teljesítmény, a hely, a megfelelés valós idejű figyelése és rögzítése | Beavatkozási jelentés; balesetek rögzítése (30 másodperc a baleset előtt) | Fekete doboz szükséges; ajánlott a nem személyes adatok szabad áramlása |
| | Felelősség | A tesztért felelős jogi entitás | Gyártó, az automatizált vezetési rendszerek tulajdonosa | Biztonsági sofőr és/vagy a jármű tulajdonosa (tesztelő cég) |

1. táblázat. Különböző szabályozások összehasonlítása [10]

A táblázatból látható nagyobb mértékű engedélyezéseknek köszönhetően is több vállalat Kaliforniában teszteli autonóm járműveit. Kalifornia állam DMV szervezete minden évben megjelenteti a Disengagement Reports nevű jelentését, melyben összefoglalja, hogy a tesztelt járművek Kalifornia közutjain mennyi mérföldet tettek meg. A jelentés azt is tartalmazza, milyen gyakran történt olyan esemény, amikor vagy a jármű szoftvere érzékelt valamilyen hibát, amely közbeavatkozást igényelt, vagy a felügyelő biztonsági járművezető ítélte meg úgy, hogy szükséges beavatkoznia a szoftver által irányított járművezetésbe [14][15].

A 2020-as Disengagement Reports [16] összesen 29 olyan vállalat adatait tartalmazza, amelyek Kalifornia közutjain tesztelték autonóm járműiket. A jelentésben 25 vállalatnál 2019. december és 2020. november közötti adatok találhatóak, míg 4 vállalatnál 2019. január és 2020. november közötti adatok szerepelnek. Ez utóbbi 4 vállalat a 2020-as jelentésben szerepel először, korábbi jelentésekben nem szerepeltek.

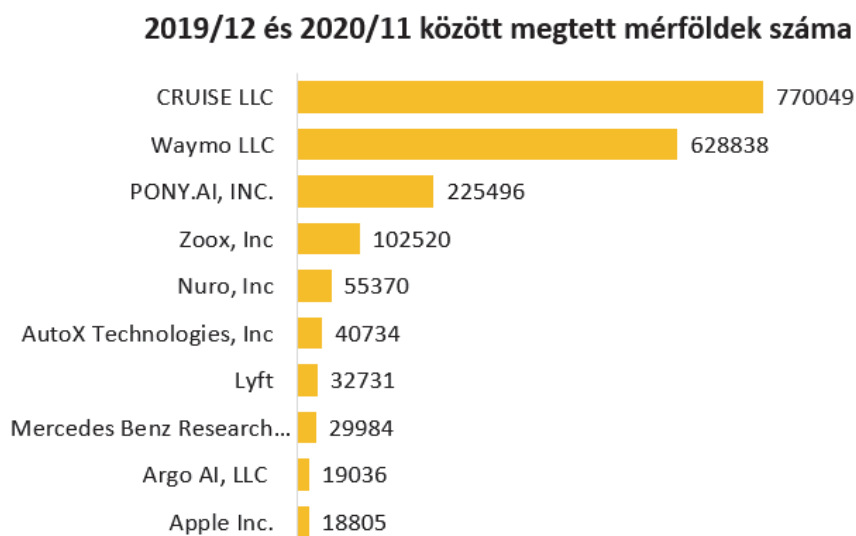
A tesztelésekre összesen 668 autonóm jármű volt beregisztrálva. A 4. ábrán láthatók azok a gyártók, melyeknek a legtöbb regisztrált járműjük volt.



4. ábra. A 2020-as Disengagement Reports [16] alapján a gyártók tesztelésre regisztrált autonóm járműinek száma (a 10 járműnél kevesebbet regisztrált gyártók nem szerepelnek a grafikonban)

A jelentésből az is kiderült, hogy 4 gyártó (BMW of North America, Telenav, Udelv, Atlas Robotics) autonóm járművei képesek járművezető nélkül is közlekedni, a tesztelés során azonban a biztonság érdekében az összes járműben mindig jelen volt biztonsági sofőr.

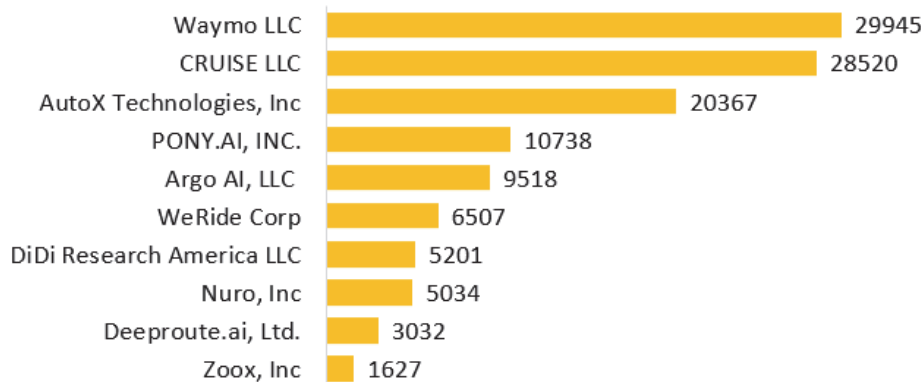
A 2020-as Disengagement Reports [16] alapján 2019. december 1. és 2020 november 30. között a tesztelésekben részt vevő autonóm járművek összesen 1 986 368 mérföldet (3 196 749 kilométert) tettek meg Kalifornia közutjain. Az 5. ábra szemlélteti a 10 legtöbb mérföldet megtevő gyártókat. Láthatjuk, hogy a rangsorból jóval kiemelkedik két gyártó, a Cruise és a Waymo.



5. ábra. A 2020-as Disengagement Reports [16] alapján a 2019/12–2020/11 időszakban legtöbb mérföldet megtevő autonóm járművek gyártói

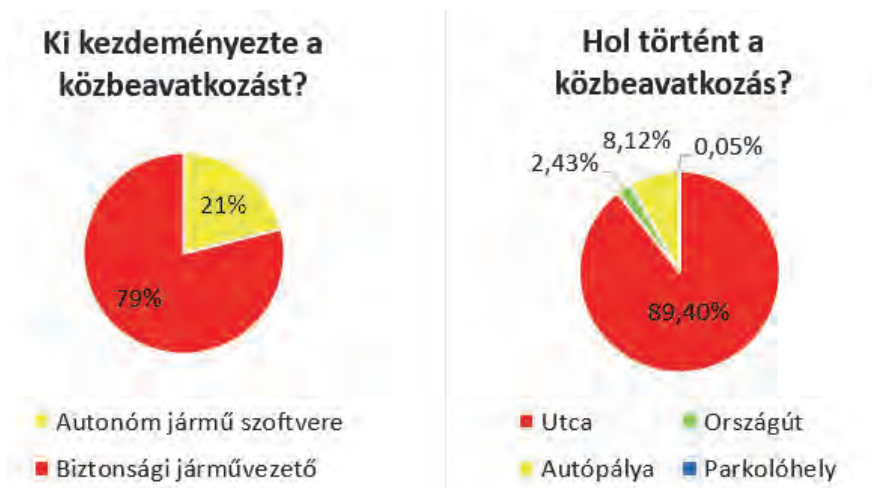
A megtett mérföldeknél jóval fontosabb adat, hogy milyen gyakran kellett beavatkozni a vezetésbe. A közbeavatkozást kezdeményezhette a rendszer (pl. vészfékezés) vagy a biztonsági járművezető (pl. lassítás, kormányzás). A 6. ábra szemlélteti, hogy átlagosan mennyi mérföldet tettek meg a gyártók járműi beavatkozásokként. Láthatjuk, hogy ebben a grafikonban is legjobb helyen a Waymo és a Cruise autonóm járművei szerepeltek.

Átlagban egy közbeavatkozásra jutó mérföldek száma



6. ábra. A 2020-as Disengagement Reports [16] alapján a 2019/12–2020/11 időszakban egy beavatkozásra átlagosan a legtöbb mérföldet megtevő autonóm járművek gyártói

A jelentésből továbbá az is kiolvasható, hogy a 2019/12–2020/11 időszakban összesen 3708 alkalommal történt olyan esemény, amikor a rendszer vagy a biztonsági sofőr által közbe kellett avatkozni az autonóm járművek vezetésébe. Ezek 21%-nál a rendszer, míg 79%-nál a sofőr kezdeményezte a beavatkozást (7. ábra, bal oldali grafikon). A közbeavatkozások 89,4%-nak a helye utca volt; 8,12%-a autópályán (freeway), 2,43%-a országúton (highway), míg 0,05%-a parkolóban következett be (7. ábra, jobb oldali grafikon).



7. ábra. Ki kezdeményezte, ill. hol következett be a vezetésbe való beavatkozás

Annak ellenére, hogy ebben a fejezetben felsorolt eredmények Kalifornia közutjain való tesztelésekre vonatkoztak, úgy gondoljuk, hogy hasznos információkkal szolgálhattak. Sajnos

nem találtunk más országokra vagy gyártókra vonatkozó olyan adatokat, melyekkel ezek a kaliforniai adatok összehasonlíthatók lennének.

6. Befejezés

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy az elmúlt években az autonóm járművek tesztelése és alkalmazása közutakon nagy fejlődésen ment keresztül. Több ország is igyekszik megfelelő körülményeket kialakítani az önvezető autók bevezetésére. A gyártók tesztadatainak eredményeiből is látható, hogy járművek jelentős technikai fejlesztéseken mennek keresztül. Néhány helyen már megfigyelhetők a 4. automatizáltsággal rendelkező járművek alkalmazása is (autóbuszjáratok, áruszállítás, taxi), a legtöbb helyen azonban még az ilyen járművek használata csak folyamatos tesztelési és fejlesztési fázisban van. A teljes, 5. szintű automatizáltság eléréséhez jelenleg még több kihívással is szembe kell nézniük úgy az autonóm járművek bevezetését engedélyező országoknak (pl. biztonsági szabályozások, megfelelő infrastruktúra, 5G mobilhálózat), mint a járművek gyártóinak.

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] SZEMERÉDI, Eszter, Autonóm járművek – biztonság, használat és észlelt hasznosság. In: *Tér Gazdaság Ember*, VII. évfolyam, 2019/1 szám, ISSN 2064-1176, pp. 111–135.
- [2] *SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, J3016_202104, 2021-04-03. https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- [3] Synopsis, Inc., *The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained*, 2021. <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>
- [4] KPMG, *2020 Autonomous Vehicles Readiness Index (AVRI)*, 2020. <https://home.kpmg/uk/en/home/insights/2020/07/2020-autonomous-vehicles-readiness-index.html>
- [5] KANG, James Jin, AHMED, Mohiuddin, HASKELL-DOWLAND, Paul, Robot take the wheel: Waymo has launched a self-driving taxi service. *The Conversation*, 2020-10-14. <https://theconversation.com/robot-take-the-wheel-waymo-has-launched-a-self-driving-taxi-service-147908>
- [6] KANTARCI, Atakan, 35 Statistics about Self-Driving Vehicles Market in 2021. *AI Multiple*, 2021-02-05. <https://research.aimultiple.com/self-driving-cars-stats/#facts-stats-on-self-driving-vehicle-accidents>

- [7] ZIEGLER, Chriss, A Google self-driving car caused a crash for the first time. *The Verge*, 2016-02-29. <https://www.theverge.com/2016/2/29/11134344/google-self-driving-car-crash-report>
- [8] Wikipedia, *Death of Elaine Herzberg*, 2021. https://en.wikipedia.org/wiki/Death_of_Elaine_Herzberg
- [9] MILLER, Ben, First Driverless Car Crash Study: Autonomous Vehicles Crash More, but Injuries Are Less Serious. *Government technology*, 2015-05-30. <https://www.govtech.com/fs/first-driverless-car-crash-study-autonomous-vehicles-crash-more-injuries-are-less-serious.html>
- [10] LEE, Dasom, HESS, David J., Regulations for on-road testing of connected and automated vehicles: Assessing the potential for global safety harmonization. *Transportation Research Part A*, 136 (2020), Elsevier, 2020, pp. 85–98.
- [11] Ruter, *Self-driving vehicles*, 2020. <https://ruter.no/en/about-ruter/reports-projects-plans/autonomous-vehicles/>
- [12] VAISH, Esha, Driverless electric truck starts deliveries on Swedish public road. *Reuters*, 2021. <https://www.reuters.com/article/us-einride-autonomous-sweden/driverless-electric-truck-starts-deliveries-on-swedish-public-road-idUSKCN1SL0NC>
- [13] DMV, *Autonomous Vehicles*. State of California, 2021. <https://www.dmv.ca.gov/portal/vehicle-industry-services/autonomous-vehicles/>
- [14] MCCARTHY, Niall, The Self-Driving Car Companies Going The Distance. *Statista*, 2021-02-15. <https://www.statista.com/chart/17144/test-miles-and-reportable-miles-per-disengagement/>
- [15] HERGER, Mario, 2020 Disengagement Reports from California. *The Last Driver License Holder...*, 2021-02-09. <https://thelastdriverlicenseholder.com/2021/02/09/2020-disengagement-reports-from-california/>
- [16] DMV, *Disengagement Reports*. State of California, 2021. <https://www.dmv.ca.gov/portal/vehicle-industry-services/autonomous-vehicles/disengagement-reports/>

TEHETSÉGGONDOZÁS ÉS KUTATÓI UTÁNPÓTLÁS FEJLESZTÉSE AUTONÓM JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK TERÜLETÉN

EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001

Kedvezményezett:

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

Konzorciumi partnerek:

Széchenyi István Egyetem (SZE)

Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE)

Támogatási összeg: 1 761 979 865 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2017.09.01. – 2022.05.31.

Projektismertető:

A 2017. június elején indult projektünk célja tehetséggondozás és a kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén, melyet a programot megvalósító három intézmény: BME, ELTE, SZE együttműködve kíván elérni. Ezen feladat megvalósítása keretében olyan mérnöki utánpótlás nevelése a cél, mely felkészültsége és szakmai tudása alapján helyet biztosít Magyarországon számára az autonóm járművek kutatása területén vezető szerepet játszó országok körében.

A projekt elsődleges célja a hozzájárulás a minőségi tudományos utánpótlás-nevelés korszerűsítéséhez az informatika és számítástudomány interdiszciplináris területein, az autonóm járműirányítási technológiákhoz kapcsolódó témakörökben.

- A projekt növelni kívánja a kutatói létszámot az utánpótlás biztosításával;
- fejleszteni kívánja a tehetségsegítő programokat, amelyek az arra érdemes hallgatóknak lehetőséget és anyagi háttérrel biztosítanak a tudományos fejlődésre, az oktató pályára való továbblépésre;
- valamint szolgálni kívánja a hazai- és nemzetközi kutatói mobilitást, a hazai- és nemzetközi kutatói együttműködéseket, illetve kutatói közösségek együttműködését.

A projekt tevékenységei az egyetemi oktatás és kutatás teljes spektrumára kiterjednek. A PhD képzés színvonalának és minőségének fejlesztése mellett elősegítjük a tehetséges BSc és MSc hallgatók tudományos diákköri tevékenységeit, a szakkollégiumok színvonalának emelését és minőségének javítását. Tudományos műhelyeket, szakmai csoportokat hozunk létre a jobb együttműködés ösztönzésére és a hatékony kutatómunka segítésére.

A digitális térben megfigyelt fogyasztói magatartás változása a járvány hatására.

The change of consumer behaviour in the digital era during Covid-19.

Vastag Tímea^a, Dr. Eisingerné Dr. Balassa Boglárka^b

^aSzéchenyi István University, Hungary
vastag.timea@sze.hu

^bSzéchenyi István University, Hungary
eisingerne@sze.hu

Absztrakt: A Covid-19 járvány nem csak a gazdaságban okozott változást, hanem az emberi viselkedést is befolyásolta. Az elmúlt másfél évben bekövetkezett, a fogyasztói viselkedést érintő rövid távú változások már azonosíthatóak. Jelen tanulmány bemutatja az új viselkedési minták legfőbb jellemzőit a Web of Science adatbázisban talált források alapján. Az általános bemutatást és módszertani leírást egy összegzés követi, mely az érintett iparágakra (bankszektor, élelmiszeripar, ruhaipar) és ezen iparágakban megfigyelt fogyasztói magatartási változásokra tér ki. Végzőként kutatásunk limitációit mutatjuk be, egyúttal új irányokat megfogalmazva jövőbeli kutatásokra vonatkozóan.

Kulcsszavak: e-kereskedelem, Covid-19, fogyasztói viselkedés

Abstract: Covid-19 caused not only economic recession, but it impacted human behaviour as well. Looking back on a one and a half year period, the short-term changes can be discovered in consumer behaviour. This study concludes the main attributes of the new behaviour patterns by analysing the most relevant sources found in Web of Science. Summary of the observable changes in the concerned industries (e.g., retail banking, food industry, fashion) and the changed behavioural schemas follow the general introduction and methodological description. As an afterword, we phrase the limitations of our inquiry, such as frame the possible directions for further research.

Keywords: e-commerce, Covid-19, consumer behaviour

1. Introduction

Analysing the changing consumer behaviour and the spread of the online era calls for deeper investigation. Considering the isolation and its impact on people, the growing level of anxiety and uncertainty are essentially social phenomena derived from Covid-19 and need to be solved

not only on the individual level but also on the social level. From digital education through the increase of online services until growing resilience and the capacity of adaptation to new circumstances, we not only lose, but we have the chance to learn and change for a better future (Schwab, 2020).

Economic ups and downs were embodied in reducing GDP (Zhang et al., 2020), but comparing online transactions of 2019 with 2020 proved the severity of the pandemic. ”Indonesia, 60% versus 120%, South Africa, 20% versus 100%; Brazil, 15% versus 100%; Mexico, 15% versus 80%; India, 30% versus 70%; Nigeria, 20% versus 50%; China 10% versus 20%” (Reardon et al., 2020:6). Social behaviour followed the changes that took place in the economy. Limiting face-to-face contacts with others by social distancing and keeping self-quarantining were some of the main mandates that concerned every household.

The adjustment of consumer preferences to the worldwide spreading phenomena provides new dimensions for marketers to reconsider their competitiveness and trade their products more personal and profitable. On the other hand, academics can also benefit by taking advantage of the new research fields and recognise the importance of the transdisciplinary approach.

This study summarises briefly the popping and unique behaviour patterns that occurred by the Covid-19. The reader gets a picture of the most affected industries in global surroundings. In the end, we wish to point out the significance of the transdisciplinarity and phrase further directions, of research.

2. Methodology

Performing the systematic literature review is a crucial part of every research. In this paper, we used a systematically built method to get the most relevant sources. The database Web of Science was the platform for gathering articles. The keywords “COVID AND E-COMMERCE”, “COVID AND CONSUMER BEHAVIOUR”, and “COVID AND PURCHASE INTENTION” were the base of the review. Totally thirty articles were found after narrowing down the disciplines for social sciences (e.g., psychology, sociology), business- and management-related sources. We only worked with English-written articles; other languages were ignored. Geographical filtering was not issued attentive to the global nature of the study. The abstract and title filter resulted in fifteen pieces; those summary is following in the next section.

3. Discussion

3.1. Concerned industrial sectors and the nature of hoarding behaviour

Human-to-human transmissions mean a danger factor for controlling the epidemic. Food purchasing showed up problematic during the isolation period; the fear of getting infected forced the need for service to shop online. Online purchases faced new challenges. On the one hand, the fear of the infection, the consumer doesn't have information on who treated or packaged the product; on the other hand, the inequality in logistic systems, the distribution of fresh goods means still a black hole in the supply chain processes. Inconsistently with the expectations that arise from the heterogeneity of delivery opportunities in China, online

purchases increased during the pandemic. After the statistical analysis, these assumptions will be proved because the food choice and online purchase intention have significantly correlated with the level of infrastructure. The perceived risk impacted the choice of consumers, but the socioeconomic and demographic features have a moderating role, for instance; between the elderly and the young people (Gao et al., 2020).

Beyond the food industry, fashion was also concerned about the change: “...fashion consumers have shifted their shopping channel from offline to online; this phenomenon is described as “store comes home,” meaning that consumers are engaged in online shopping activities at home and use in-home delivery of everything instead of going out for shopping” (Youn et al., 2021:140). The retailers who already had e-commerce platforms before Covid-19 could survive and robustly increase their profit during the pandemic: ”Puma reinforced online logistics before COVID-19 and reported an e-commerce growth up to 40% after the pandemic; H&M’s sales in physical stores decreased to 57%, while online sales grew up to 30% from March to May 2020 Zalando, Europe’s biggest online fashion retailer selling apparel and beauty products in European markets, increased 11% in sales during the pandemic, which is higher growth than their expectation of full-year sales. They added about 40% of new customers in April 2020” (Youn et al., 2021:140). Forecasting based on the demand popped up either as a critical point, e-commerce transactions focused only on the basic needs (Agus et al., 2021). Chinese people food preferences aimed at the high-calorie foods under the lockdown as a tool for compensating the closeness (Gao et al., 2020). The supply chain was disrupted not only because of the fact mentioned above but because of the increasing hoarding tendency. “Hoarding behaviour (as distinct from compulsive hoarding; is defined as the act of collecting and safeguarding a large number of possessions (i.e. more than is required for present needs) for future use. Hoarding behaviour has an evolutionary basis and is instinctual when a threat is perceived. It is motivated by fear of being caught unprepared and is heightened following an adverse event due to an increase in risk-aversion and anticipated regret” (Kirk & Rifkin, 2020:125).

It is also worth mentioning that the need for green foods was reported as an outcome of the pandemic. The propensity for health- and environmental consciousness appeared in the purchase intention, but executing these desires were hindered by the financial uncertainty (Qi et al., 2020). Staying in China’s population, another study (Guo et al., 2020) discusses the e-commerce models of online booking, centralised procurement and community distribution that helped to ensure the urban demand of food supply. Nevertheless, the severity of the Pandemic indicated saving behaviour in China’s population, but the perceived risk and changed financial behaviour are only predicted for the period of the pandemic. Interestingly, materialism has a mediating role in economic behaviour. More materialistic citizens had lower savings without considering the economic fallout (Jin et al., 2021).

3.2. Changed brand preferences

Governmental instructions aimed to slow the transition of Covid-19. The restaurants, as a crucial part of the service industry, were not exceptions either. Takeout, drive-thru or delivery services were permitted only; the dine-in services must be suspended. Replacing the lost profit and customers were the main challenges that restaurant owners needed to face. To stabilise their revenue streams, they entered online market platforms and innovated delivery services of menus to win back their consumers. Pivoting new strategies such as integrating new marketing

channels in the business model also means technological development. “Such fundamental shifts by businesses in practices and strategy are called “pivoting” in the business community and the business management literature” (Reardon et al., 2020:2). Restaurant owners presented well-designed mock-ups of the available menu with a detailed ingredients’ list, increasing the trust in the product and services. Visual perceptions and the opportunity to keep distance parallelly obtain the desired food resulted in a positive purchase intention (Brewer&Sebby, 2021, Ali et al., 2020); on the other hand, people’s brand choice was strongly influenced by how the marketers perceive the pandemic, how they take care of their employees, emphasised arrangements regarding health and hygiene, ensuring to keep social distance (Shim et al., 2021) and what is highlighted in their marketing communication (Kirk & Rifkin, 2020). Developing the hygienic types of equipment (e.g.: sanitiser, thermometers, emphasizing wearing a mask and provide masks on-site) seems essential during the pandemic, such as establish new, healthier menus in coffee business, allocate the resources for fruits, vegetables, de-caffeinated drinks and low-calorie products. Food safety in this sense derives from hygienic and health, practitioners need to focus on them to keep their authority on the market (Shim et al., 2021).

3.3. Mobile shopping and payment

The article of Zhang et al. (2020) shed light on the differences between PC and mobile online shopping. Meanwhile, based on the study that analysed the situation in Indonesia, cost-effectiveness was not enough to facilitate the use of mobile payments during Covid-19 (Sunarjo et al., 2021). The demand to intensify users’ education and strengthen their digital skills appeared parallel to the need for designing new digital products during the analysis of retail banking in Romania (Baicu et al., 2020). Zhang et al. (2020) highlight the external factors that induce increased purchase intention in the online era. It studies the significance of the internal emotional changes also by the purchasing process. The anxiety that derives from the uncertain situations caused by Covid-19 correlates with impulse purchase behaviour. The economic consequences of the pandemic list, among others, the shortcut of wages, higher product prices and the lack of personal confidence led to cognitive distortions and reckless purchase (Zhang et al., 2020). In the Starbucks study of Shim et al. (2021), the importance of ease of app use and its positive effect on purchase intention is highlighted. The less mental effort and cognitive load the application requires the more the purchase intention increases. Therefore, Starbucks provides a mobile ordering system with easy accessibility and encourages people to use it by offering convenience.

It is also important to mention that pandemic emerges not only a negative effect on consumer behaviour, but it urges people to apply new habits and develop resilience to the changed circumstances. “There is a universal law of consumer behaviour. When an existing habit or a necessity is given up, it always comes back as recreation or a hobby (Sheth,2020:282).”

3.4. Copying, “Do it yourself.”

Existing habits will be modified by keeping the guidelines, and new patterns adapt to technology and the life circumstances that typically become during Covid-19, for instance, online dating and online shopping. The family budget is also involved in this change; setting the stage for technological devices to meet the new necessities has the danger to overspend (Sheth, 2020). Using technologies to video conferences skyrocketed; the hedonic motivation

triggered it. By copying others’ behaviour, people seek to keep their autonomy and express themselves by the “doing yourself” schemas. Fulfilling their functional needs, people started to shape their personal empire of cooking, baking, workout routines and making unique masks (Kirk & Rifkin, 2020).

4. Conclusion

In essence, we can establish a model based on the reviewed sources that help to structure the reasons and consequences of Covid-19 related to consumer behaviour. The two dimensions of the model (Figure 1) represent the different levels of changes and aim to provide an easier way to synchronise the results. On the industrial level, the suspension of dine-in services and physical stores was needed during the pandemic. This step encouraged the marketers to implement new strategies and turn to digitalisation. On the other dimension, the growing anxiety and frustration characterised consumers by manifesting hoarding behaviour. The lack of opportunities for physical entertainment leads to different types of hedonic motivation and the need to keep autonomy, which encouraged people to copy other’s behaviour and find new hobbies. Compared to the marketers, consumers also needed to get familiar with digital platforms, such as mobile applications and webshops—this new type of market platforms shapes emerging, renewable brand preferences and new ways to purchase decision-making processes. What earlier seemed unimaginable for today it became regular and convenient; our ability for adaptation brings new habits into our lives.

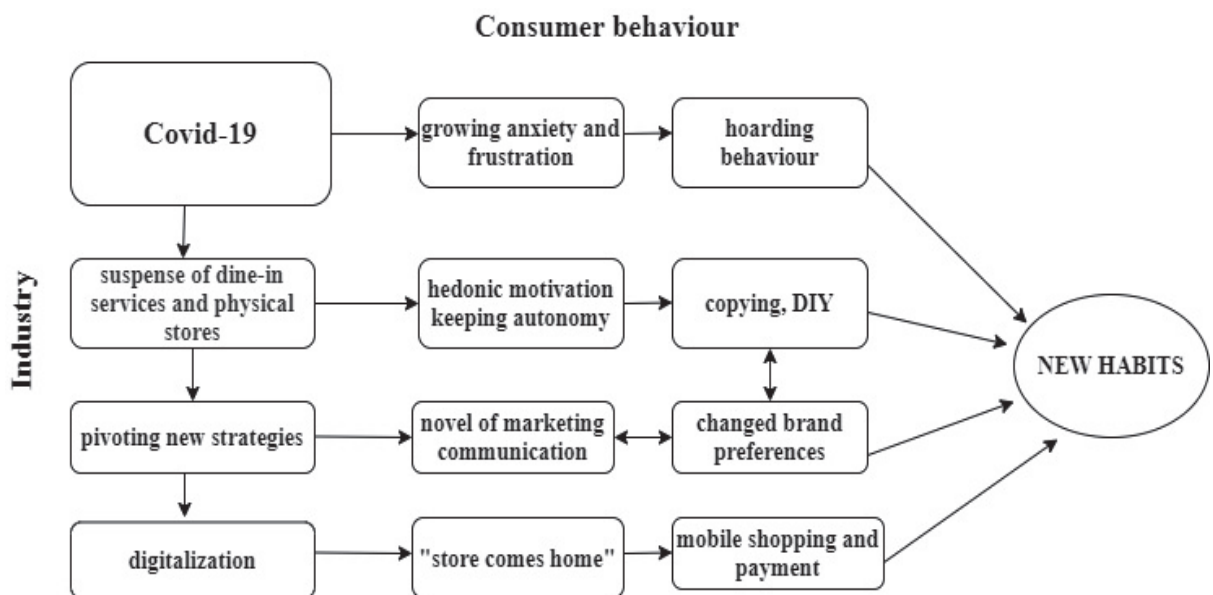


Figure 1: developed by the authors’ Source: software draw.io

5. Limitations and further directions

This paper has several limitations that appear mainly in the low number of sources. Using other databases and specify the research for one industry or consumer group would lead to more precise results. Otherwise, involving more disciplines such as computer technology or

engineering would provide a broader perspective as developing a meta-analysis from the existing data. The reviewed sources focus most of the cases on only one geographical area. They are narrowed down for the local socio-cultural model without considering different genders, age groups or social classes transformed during Covid. Expanding the investigation of consumer behaviour in e-commerce on clusters or comparing the data with other countries would give a clearer picture of the global changes. Concerning the available data derived from short-term observations, longitudinal research would help establish a more precise dataset for deeper analysis.

Deeper understanding might be achieved when transdisciplinary groups kick off a cooperative work with scientists and non-scientists to share knowledge, experience and make further implication strategies like solutions to practitioners.

6. Acknowledgement

The research presented in this paper was carried out as part of the “Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

References

1. Agus, Anna Amalyah; Yudoko, Gatot; Mulyono, Nurbudi and Imaniya, Taliya: E-Commerce Performance, Digital Marketing Capability and Supply Chain Capability within E-Commerce Platform: Longitudinal Study Before and After COVID-19, *International Journal of Technology* 12 (2021), 360-370.
2. Saqib Ali, Nadeem Khalid, Hafiz Muhammad, Usama Javed and Dewan Md. Zahurul Islam: Consumer Adoption of Online Food Delivery Ordering (OFDO) Services in Pakistan: The Impact of the COVID-19 Pandemic Situation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, 7(2021), 1-23.
3. Claudia Gabriela Baicu, Juliana Petronela Gârdan, Daniel Adrian Gârdan and Gheorghe Epuran: The impact of COVID-19 on consumer behavior in retail banking. Evidence from Romania, *Management & Marketing: Challenges for the Knowledge Society*, (2020), 543-556.
4. Gao, Xuwen; Shi, Xinjie; Guo, Hongdong and Liu, Yehong: To buy or not buy food online: The impact of the COVID-19 epidemic on the adoption of e-commerce in China, *Plos one* 15/8 (2020), 1-14.
5. Guo, Hongdong; Liu, Yehong; Shi, Xinjie and Chen, Kevin Z.: The role of e-commerce in the urban food system under COVID-19: lessons from China, *China Agricultural Economic Review* 13/2 (2021), 436-455.
6. Jimin Shim, Joonho Moon, Myungkeun Song and Won Seok Lee: Antecedents of Purchase Intention at Starbucks in the Context of Covid-19 Pandemic, *Sustainability*, 13/4, (2020), 1-14.

7. Jin, Xiaotong; Zhao, Yurou; Song, Wei and Zhao, Taiyang: Save for Safe: Effect of COVID-19 Pandemic on Consumers' Saving and Spending Behavior in China. *Frontiers in Psychology*, 12 (2021), 1-8.
8. Kirk, Colleen P. and Rifkin, Laura S.: I'll trade your diamonds for toilet paper: Consumer reacting, coping and adapting behaviours in the COVID-19 pandemic. *Journal of Business Research* 117 (2020), 124-131.
9. Klaus Schwab: Covid-19: The Great Reset. *ISBN Agentur Schweiz*, (2020).
10. Oana, Duralia: The Impact of the current crises generated by the Covid-19 pandemic on consumer behaviour. *Studies in Business and Economics*, 15/2 (2020), 85-99.
11. Prawannarat Brewera and Angela G.Sebby: The effect of online restaurant menus on consumers' purchase intentions during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Hospitality Management*, 94 (2021), 1-9.
12. Reardon, Thomas; Heiman, Amir; Lu, Liang; Nuthalapati, Chandra S. R.; Vos, Rob; and Zilberman, David: Pivoting by food industry firms to cope with COVID-19 in developing regions: E-commerce and pivoting delivery intermediaries, *Agricultural economics* 52 (2021), 459-475.
13. Sunarjo, Wenti Ayu; Nurhayati, Siti and Muhardono, Ari: Consumer Behavior Toward Adoption of Mobile Payment: A Case Study in Indonesia During the COVID-19 Pandemic, *Journal of Asian Finance and Economics and Business*, 8/4 (2021), 581-590.
14. Sheth, Jagdish: Impact of Covid-19 on consumer behaviour: Will the old habits return or die? *Journal of Business Research*. 117 (2020), 280-283.
15. Wei Zhang, Xuemei Leng and Siyu Liu: Research on mobile impulse purchase intention in the perspective of system users during COVID-19. *Personal and Ubiquitous Computing*, (2020).
16. Xin Qi , Huaming Yu and Angelika Ploeger: Exploring Influential Factors Including COVID-19 on Green Food Purchase Intentions and the Intention–Behaviour Gap: A Qualitative Study among Consumers in a Chinese Context. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (2020), 1-22.
17. Youn, Song-yi; Lee, Jung Eun and Ha-Brookshire, Jung: Fashion Consumers' Channel Switching Behavior During the COVID-19: Protection Motivation Theory in the Extended Planned Behavior Framework. *Clothing and Textiles Research Journal*, 39/2 (2021), 139-156.

Money muling - Átverések és pénzmosás az online térben

Money Muling – Scams and money laundering in the online world

Nagyová Nikoleta^a

^aSzéchenyi István University, Kautz Gyula Faculty of Economics

nagyova.nikoleta@sze.hu

Absztrakt: Az e-kereskedelem globális fejlődése alapjaiban változtatta meg vásárlási szokásainkat. De van ennek egy sötét oldala is, nevezetesen: online csalások és átverések. Ennek okán rendkívül fontos felismerni a hamis weboldalakat, webshopokat és online reklámokat, hogy a csalók ne tudjanak magas összegeket kicsalni az áldozatoktól. Az említett csalásból származó bevétel tisztázására is számos új módszer alakult ki az elmúlt években, hónapokban. A tanulmány az online térben leggyakrabban előforduló csalásokkal foglalkozik, valamint elemzésre kerülnek a világszintű trendek, s az online csalásokat követő pénzmosás új típusa, a money muling. A tanulmány célja, hogy áttekintést nyújtson a témaköréről, szekunder kutatás alapján és felvázolja a jövőbeli kutatási irányokat.

Kulcsszavak: money mule, money muling, online átverések

Abstract: The global development of e-commerce has fundamentally changed the way we shop. But there is also a dark side, to this, namely: online scams and swindles. For this reason, it is extremely important to identify fake websites, webshops and online advertisements to prevent fraudsters from swindling high amounts of money from victims. A number of new methods have also emerged in recent years and months to clear the proceeds of this fraud. The study looks at the most common types of fraud in the online space, analyses global trends, and looks at the new type of money laundering that follows online fraud, money muling. The aim of the study is to provide an overview of the topic, based on secondary research, and to outline future research directions.

Keywords: money mule, money muling, online scams

1. Introduction

Nowadays, e-commerce is gaining ground. There is almost no product that consumers cannot buy online. With the proliferation of online shopping, fraud and unfair practices against consumers are on the rise. The first documented online purchase was made in 1994 and since then the online market has been growing at an unstoppable pace [3; 11]. As a result, online sales are now enjoying spectacular success at national and international levels [3]. Markets around the world have higher online shopping frequency for certain product categories. Such popular product categories include travel and entertainment-related products, as well as durable goods such as electronics. The main reason for the effectiveness of these product categories is the ability to search and compare product and service specifications, the availability of products and prices in an online environment, and the possibility of cross-border shopping [3; 17]. It is

necessary to mention that the already unstoppable growth has been pushed even further ahead by the coronavirus epidemic that spread in 2020, along with fraud.

In the rest of the paper, I summarise the characteristics of fraud in online commerce from an international perspective. I focus on both the extent and the types of fraud, using both national and international statistics. I also present a modern money laundering technique, also using secondary data collection.

2. Methodology

The study is based on secondary research. The research was carried out using the Scopus database, using the keywords "money mule", "money muling" and "online scams" as the basis for filtering. There were no results for the keyword "money muling" and only 8 results for the keyword "money mule". This fact confirms that this type of money laundering is a modern phenomenon which is nowadays in its heyday. At the same time, it can be stated, that the topic has great research potential. For the keyword "online scams", 61 sources were found. The sources have been organised and the present study has been prepared by studying and processing these articles.

3. Discussion

3.1 Most common types of online scams

This selection was based on literature research. Of course, in addition to those listed, there are many old and new types of scams. So, we can often meet *money transfer scams* when we transfer a certain amount of money to the other party [8]. It should be mentioned, that nowadays transfer scam is on a declining trend. The main reason for this is the introduction of security controls for payment gates. In case of *webshop scams*, the victim receives the package, pays, but opens only after payment. The package does not contain the purchased products. Instead, in the package is brick, wrong product or others [9]. In case of *product service scams* the victim sends the product to the address provided on the internet or personally hands over the product for repair, possibly also the price of the repair, but does not get back the product (most often mobile phone or technical device). *Ticket scams* are mostly realized in ticket duplication. For example, usually are included here scams related to the sale of tickets for a concert, sporting event or other events. Entry systems allow only one entry with one code, but the offenders print several copies of the ticket, which they sell to the victim before the event or at the event. When the victim notices the scam, the scammer is already not available. For this reason, in Hungary is in progress the initiative, that the second sale of tickets will be disabled from 2022. *Trading with fake products* is a very common type of online scams. This type of scams usually is realized in social media or in online want-ad sites. *Trust based scams* are rather rare form of fraud. In this case, the offenders have already made some successful transactions with the buyer and only after this become criminals. Smaller purchases were implemented on the basis of the agreed criteria therefore the buyer was satisfied, and the offenders gained the trust of the victims. It is also possible that the sellers give a bigger discount for the buyers, however the paid product does not arrive or does not meet expectations [2]. The *phishing* is one of the earliest forms of scams. In this case, scammers try to obtain information through messages in order to create false profiles from the obtained personal data. The *lottery scam* is another form of phishing where the damage is much more serious. The user receives an email from a supposedly genuine source, claiming that the user has won a lottery conducted by a particular organisation, and to

claim the prize, the user needs to reply to the email immediately with the requested details. In reality, there is no lottery and there is no prize waiting for the user. In case of *video scams* or the process of video scamming the user involves tricking into viewing an infected video, containing malware [15].

3.2 Online scam trends worldwide

The incidence of online fraud is a global problem. With this in mind, I have not limited my research to a single region for data collection, but rather to a global overview. In order to create grouping, I began to analyze online scams by continent. Up to now I analyzed Europe, Asia and Australia.

Firstly I analyzed the european trends, where I highlighted data from two countries. It is very important that we know the Hungarian statistics, therefore I would like to provide an overview of online frauds in Hungary.

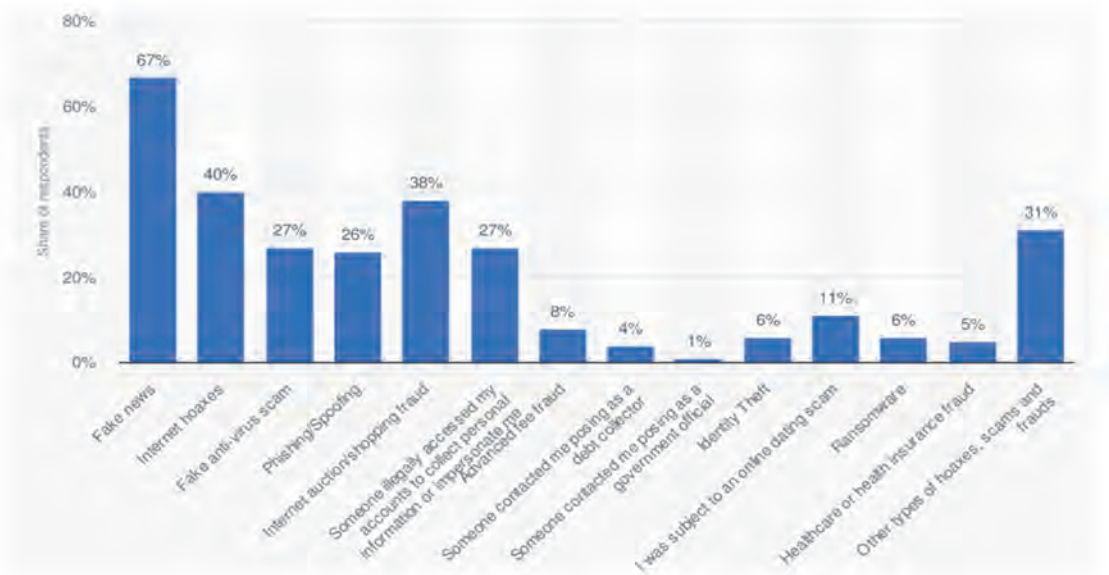


Figure 1. Most common types of online scams in Hungary, 2018 (statista.com)

Figure 1 shows, that nowadays, fake news and hoaxes appearing on social media are extremely common. This assumption is also supported by the illustrated research. According to the survey, fake news was the most common type of online scams what Hungarians experienced. Phishing and fraud involving online shopping are also significant, it is located between 25-40%. It is interesting that only six percent of respondents in 2018 stated that they fell victim to identity theft. It is another question whether people fell into the trap or they spotted it in time [12]. Obviously, fraud also has financial implications. For example, in Spain a study excellently explained the financial losses of victims.

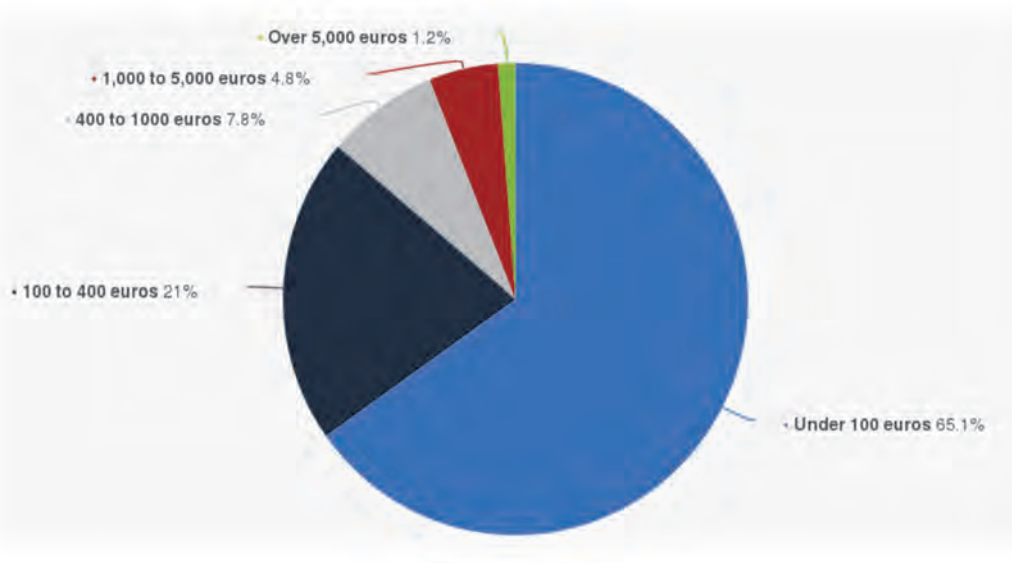


Figure 2. Economic loss as a result of online scams in Spain, 2019 (statista.com)

Figure 2 shows users who suffered economic fraud in the internet. These statistics show the share of users who suffered some type of economic loss as a result of online fraud in Spain during the first semester of 2019. Nearly 65 percent of all internet scams in Spain defrauded amounts under 100 euros that year. In contrast, only 1,2 percent of the surveyed population had suffered an economic loss that amounted to 1 thousand to 5 thousand euros in the first half of 2019 [16].

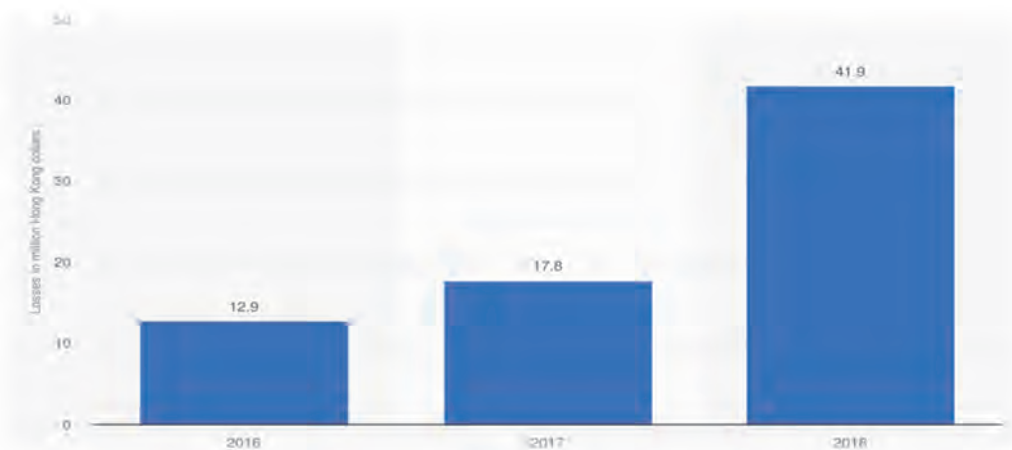


Figure 3. Financial losses caused by online shopping scams in Hong Kong 2016-2018 (in million HKD) (statista.com)

Figure 3 illustrates the results in Asia. The Hong Kong data were the most representative for the continent. These statistics illustrate the financial losses caused by internet shopping scams in Hong Kong from 2016 to 2018. In 2018, online shopping scams in Hong Kong bilked people out of approximately 42 million Hong Kong dollars [18].

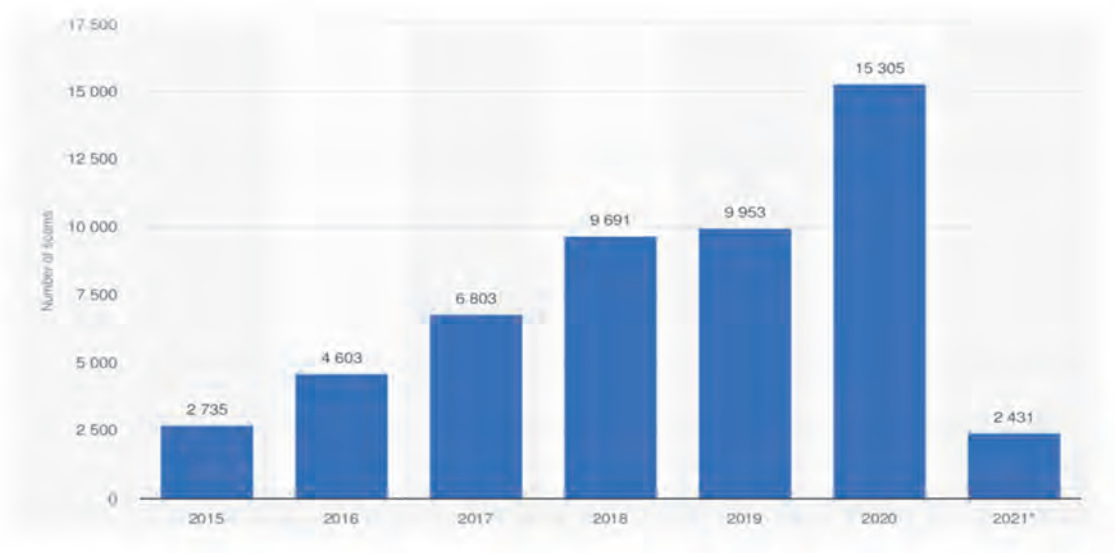


Figure 4. Number of online shopping scams reported in Australia 2015-2021 (statista.com)

I found the most accurate and the best summarizing data for Australia. Figure 4 shows online shopping scams reported in Australia. From 2015 to 2019 the number of online shopping scams in Australia increased steadily. This may be due to the increasing use of the internet. However, in 2020 this number increased significantly. While in 2019 were revealed 10 000 scams, in 2020 this increased over 15 000 [14]. In my opinion, this could be due to the coronavirus epidemic, when people have been forced to shop online.

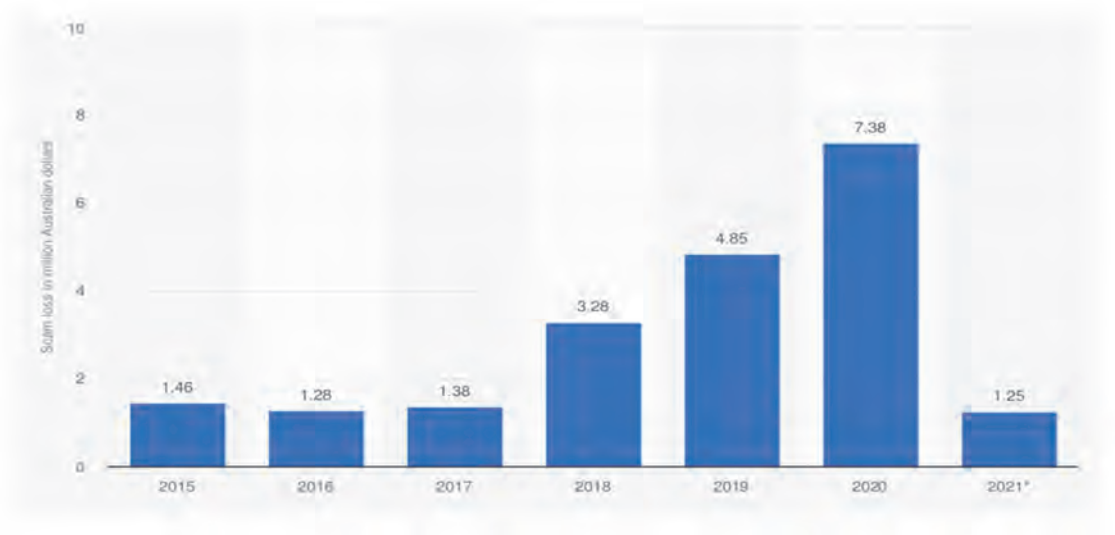


Figure 5. Money loss from online shopping scams reported in Australia 2015-2021 (in million AUD) (statista.com)

In line with this, the loss of money due to fraud has also increased. In 2019 the loss was 5 million dollars across Australia. Nevertheless, a year later it shows a much greater value. In 2020 around 7.38 million Australian dollars had been reported as being lost through online shopping scams. As of February 2021, around 1.25 million Australian dollars had been lost in online shopping scams in Australia [13].

3.3 Money mule/money muling

Money muling is a new type of money laundering which specifically appears in case of online scams [6]. According to the FBI: “A money mule is someone who receives money and transfers or moves illegally acquired money on behalf of someone else. Money mules can move funds in various ways, including through bank accounts, cashier’s checks, virtual currency, prepaid debit cards, or money service businesses.” [7] Some money mules know they are supporting criminal enterprises; others are unaware that they are helping criminals, make profit. Criminals recruit money mules to help launder proceeds derived from online scams and frauds or crimes like cybercrimes, payment and online fraud, human trafficking and drug trafficking or banking scams. Money mules often receive a commission for their service, or they might provide assistance because they believe they have a trusting relationship with the individual who is asking for help. Furthermore, a money mule hampers the work of the police, making it harder to track down criminals.

For example: “The recruiters may offer them a fee of €500 if they are willing to transfer €10,000 via their bank account. After the money was transferred from the victim’s account to the money mule’s account, the money mule withdraws the money from account via an ATM. This is the cash-out. In order to ensure the money mule does not steal the money, in many cases it is not the money mule but someone else who performs the cash-out. This person is also referred to as the cashier.” [1; 4] The money mule and the cash-out constitute the first stage of the money laundering process. Usually the actions in this first stage are sufficient to constitute money laundering in terms of a criminal offence, because illegal profits are processed with the intention of concealing the illegal origin of the profits. The second stage can consist of all kinds of combinations of money laundering methods to conceal the illegal origin of the profits [4; 10]. A well-known research report described the possible causes of money muling. This research is based on police interrogations, where 112 interrogation materials were reviewed. It is important that not all interrogations of money mules have detailed information about their financial situation, because sometimes police officers simply do not ask any questions about this. Overall, the majority of the 112 money mules seem to have limited financial funds: 40 money mules are still in high school or university with half-time jobs, 35 money mules are out of work and rely on benefits and 58 money mules claim to be in debt. Overall, recruiters seem to make use of this vulnerability. They promise potential money mules a financial reward for offering their bank accounts [4; 5].

4. Limitations and further directions

Of course, there are limits to how much you can work on this topic, as well as future research potential. The main limitation lies in the small number of literature sources and scientific publications. An example is the keyword "money muling", for which there were no hits in the Scopus database at the time of the research. Despite these limitations, the topic has great research potential. Therefore, in the coming period, my aim is:

- a broader search of literature sources in additional databases, possibly processing police records and materials;
- examination of African and American online scam trends;
- examination of scam prevention measures worldwide, by continents;
- to prepare of a summary study in which the aim is to describe the forms of online scams and to present the digital money laundering process and methods.

5. Acknowledgment

The research presented in this paper was carried out as part of the “Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

References

- [1] Bart Custers, Jan-Jaap Oerlemans, Ronald Pool: Laundering the Profits of Ransomware - Money Laundering Methods for Vouchers and Cryptocurrencies. *European journal of crime, criminal law and criminal justice* 28 (2020), 121-152.
- [2] Csaba Kollár: A magyarországi online csalások fontosabb tulajdonságai. *Belügyi Szemle* 10 (2018), 56-70.
- [3] Edina Piros, András Fehér: Analysis of food consumer behavior in online environment – literature review. *The Hungarian Journal of Nutrition Marketing* 7/1 (2020), 67-78.
- [4] Eric Rutger Leukfeldt, Jurjen Jansen: Cyber Criminal Networks and Money Mules: An Analysis of Low-Tech and High-Tech Fraud Attacks in the Netherlands. *International Journal of Cyber Criminology*. 9/2 (2015). 173-184.
- [5] Eric Rutger Leukfeldt, E.R. Kleemans: Cybercrime, money mules and situational crime prevention. *Criminal Networks and Law Enforcement*. (2019), 75-89.
- [6] EUROPOL: Money muling - Public awareness and prevention. <https://www.europol.europa.eu/activities-services/public-awareness-and-prevention-guides/money-muling>. (2021).
- [7] FBI: Money Mules - Don't Be a Mule: Awareness Can Prevent Crime. <https://www.fbi.gov/scams-and-safety/common-scams-and-crimes/money-mules>. (2021).
- [8] Gareth Norris, Alexandra Brookes: Personality, emotion and individual differences in response to online fraud. *Personality and Individual Differences* 169 (2021).
- [9] Jack Whittaker, Mark Button: Understanding pet scams: A case study of advance fee and non-delivery fraud using victims' accounts. *Australian & New Zealand Journal of Criminology* 53 (2020), 497-514.
- [10] Manny Aston, Stephen McCombie, Ben Reardon and Paul Watters: A preliminary profiling of internet money mules: An Australian perspective. *Proceedings of the 2009 Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, IEEE Computer Society* (2009). 482–487.
- [11] Michael Grothaus: You'll never guess what the first thing ever sold on the internet was. <https://www.fastcompany.com/3054025/youll-never-guess-what-the-first-thing-ever-sold-on-the-internet-was> (2015).

- [12] Microsoft, TRG: Internet users who experienced online hoaxes, scams, or frauds. <https://www.statista.com/statistics/1105860/hungary-experiencing-online-hoaxes-scams-or-frauds/> (2018).
- [13] Money loss from online shopping scams reported in Australia from 2015 to 2021. <https://www.scamwatch.gov.au/types-of-scams/buying-or-selling/online-shopping-scams>. (2021).
- [14] Number of online shopping scams reported in Australia from 2015 to 2021. <https://www.scamwatch.gov.au/types-of-scams/buying-or-selling/online-shopping-scams>. (2021).
- [15] Pradeep Kumar Puram, Mukesh Kaparathi, Aditya Krishna Haas Rayaprolu: Online scams: taking the fun out of the internet. *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)* 2/4 (2011). 559-565.
- [16] Share of internet users who suffered economic loss as a result of online fraud in Spain during the first semester of 2019. *Estudio sobre la ciberseguridad y confianza en los hogares españoles*. (2019), 49.
- [17] The Nielsen Company: Az élelmiszerek online forgalma öt éven belül túlszárnyalhatja a hagyományos bolti kereskedelmet. <https://www.nielsen.com/hu/hu/insights/article/2017/the-online-turnover-of-food-can-surpass-traditional-store-sales-within-five-years/> (2017).
- [18] Yihan Ma: Money lost due to online shopping scams in Hong Kong 2016-2018. <https://www.statista.com/statistics/996864/hong-kong-losses-caused-by-online-shopping-scams/> (2019).

Dark patterns technikái

Techniques of dark patterns

Fodor Dorina^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar

Absztrakt: A világhálónak számos rejtelme, előnye és hátránya van, amit nap mint nap megtapasztalhatnak az internetfelhasználók. Azonban az online terek elterjedtségével az online csalások is egyre szélesebb körben károsítják meg a fogyasztókat. Ezért a cikkben az online csalások egy speciális kevésbé ismert fajtáját ismertetem meg az olvasókkal. A dark patterns technikák segítségével a felhasználókat becsapják, átverik az üzemeltetők. Célom, hogy a felhasználókat segítsem abban, hogy felismerjék ezen csalási fajtát. Úgy gondolom, hogy ezen írásom nagyban hozzá fogja segíteni az internet felhasználókat ahhoz, hogy felismerjék ezeket a technikákat. Összesen 12 technikája ismeretes a dark patterns-nek, mindegyik bemutatásra kerül ezen cikkben. Valamint számos példa is ismertetésre fog kerülni. A dark patterns kifejezést ebben a kontextusban először Harry Brignull használta. Brignull csoportosítására számos tudományos kutató munka épült az évek során. Ezen kutatómunkák közül egyet szeretnék cikkemben ismertetni, ahol a kutatók számszerűsített adatokkal szolgáltak az olvasók számára.

Kulcsszavak: dark patterns, dark patterns technika, online csalás

Abstract: The World Wide Web has a number of advantages and disadvantages that Internet users experience every day. However, with the proliferation of online spaces, online fraud has also become very prevalent today. This is precisely why in this article I would like to introduce readers to a specific, lesser known type of online fraud. Dark patterns techniques are used to deceive and trick users by operators. My aim is to help users to recognise this type of fraud. I believe that my writing this article will greatly help Internet users to recognize these techniques. There are a total of 12 known dark patterns techniques, all of which will be described in this article. Several examples will also be given. The term dark patterns was first used in this context by Harry Brignull. Brignull's grouping has been the basis for a number of academic research papers over the years. I would like to describe one of these research papers in my article, where the researchers have provided quantified data for the readers.

Keywords: dark patterns, dark patterns techniques, online fraud

1. Bevezetés

Az online csalások számos internet felhasználónak megkeserítették már az online terek használatát. Az online csalási eszközök-amelyeket a megtévesztők használnak oldalainkon. A felhasználók számára nem mindig látható, hiszen nagyon jól álcázzák őket. Csak akkor tárulnak a szemük elé ezen technikák, ha nagyon alaposan és figyelmesen tekintik meg az online felületeken lévő információkat. Leggyakrabban azonban az emberek többsége csak akkor veszi észre, ha már áldozatául estek valamilyen fajta csalásnak.

A támadások elkerülhetőek lennének, ha a fogyasztó időben észlelné, illetve azonosítani tudná a technikákat. Az online csalásokon belül a dark patterns technikákat mutatom be részletesen, melyek kevésbé ismertek a laikus felhasználók körében.

Számos típusával találkozhatnak a mindennapi életben és hogy ezen variációk nagymértékben befolyásolni tudják a felhasználókat egy-egy alkalmazás használta vagy éppen egy vásárlás során. A dark patterns-amely magyarul annyit tesz szabad fordításban, hogy „sötét minta”

magát a kifejezést először Harry Brignull használta 2010-ben ebben a kontextusban, ő volt az, aki rosszindulatú felhasználói felület mintákat gyűjtött kutatásai során [1].

Célom, hogy segítsek az internet felhasználóknak, hogy elkerüljék, felismerjék és kivédjék ezen megtévesztő módszereket miközben online vásárolnak vagy böngésznek a világhálón. Sok felhasználó nem ismeri fel az úgynevezett dark patterns technikákat, ezért elengedhetetlennek tartom, hogy még több felhasználó tudomást szerezzen róluk.

2. Dark patterns

Napjainkban online csalásokról számos tévhit terjeng a világhálón. De sokak tisztában vannak azzal, hogy az online csalások megnövekedtek. Mindenek előtt egy igazán fontos megjegyzést, meglátást mutatok be. A mai digitális dark patterns-ök túlmutatnak a korábbi manipulációkon. Ezen megjegyzés összeköthető az alábbi állításokkal [2].

Sok internet-felhasználó törődik a magánéletével [3]. És mégis, a technológiai vállalatok olyan tervezési döntéseket hoztak, amelyek megnehezítik a felhasználók számára ezeknek a preferenciáknak a megvalósítását. Az online környezetek nemcsak a felhasználók korlátozására épülnek, hanem a közzététel kényszerítésére és a kognitív torzítások kiváltására is, amik arra hivatottak, hogy ösztönözzék bennünket, hogy adjuk fel és engedjük át az adatvédelem irányítását másoknak, akik esetleg visszaélnék ezzel a lehetőséggel. Az online platformok is többek közt ilyen vagy ehhez hasonló ragadozó módon viselkedhetnek a felhasználókkal szemben. Mivel a különböző generációk eltérő viselkedési formákkal és vásárlási szokásokkal bírnak [7], így a különféle célcsoportok egyes jellemzőinek ismerete döntő szempont lehet a csalók esetében.

A dark patterns elrejtheti a nyilvánosságra hozatal veszélyeit, miközben egyidejűleg kiemelik a megosztani kívánt erős társadalmi jeleket [3].

A dark patterns régóta jelen van a társadalom életében, a kommunikációs csatornákhöz hasonlóan megjelenhetnek mind offline, illetve online módon egyaránt. A csalók sok esetben a célcsoport-specifikus elérésre törekednek, ugyanúgy, mint a reklámok esetében [8]. Bizonyos módokban máshogy jelentkeznek ezen minták, offline formában is megjelenhet többek közt a fogyasztók megtévesztésével hamis állításokkal, illetve a termékek előnyeinek eltúlzásával. Amikor a dark patterns-t alkalmazzák a fogyasztókkal szemben manipulációk is előfordulhatnak. A dark patterns technikák hozzájárulnak a profit növeléséhez és megoldást nyújthat a cégek számára, hogy a teljesítmény mutatójukat megnöveljék. Tehát ebből következik, hogy a cél a vállalatok részéről ezen mintázatokkal, hogy a felhasználók figyelmét arra irányítsák amire a vállalat szeretné, ezáltal a fogyasztók figyelme nem összpontosít a többi információra, ezért talán a fogyasztó számára a jelentőségteljesebb adatok rejtve maradnak ezen technikai sémák által [4].

3. Dark patterns fogalmi meghatározás

Harry Brignull használta először ebben a formában a dark patterns kifejezést. Aki számos mintát figyelt meg és dokumentált kutatásai során és szilárd alapot adva ezen kutatásaival számos szakembernek [5].

A dark patterns egyszerűen leírható felhasználói felület vagy felhasználói élményként, amelyet trükközésre terveztek az oldal felhasználóinak, hogy olyan dolgokat tegyenek meg a felhasználók, amelyek igazából nem tartoznak elsődleges érdekeikhez. Általában a minták, a felhasználót olyan folyamatok vagy eredmények felé irányítják, amelyeket a felhasználók nem

szándékoznak megtenni. Ezen sémák rendkívül manipulatívak. A minták sokféle formában figyelhetők meg [5].

4. Dark patterns technikái

Egy közleményében bemutatták a dark patterns technikákat, amihez Harry Brignull elemzését használták fel. Ezen technikákat a következőkben részletesen bemutatok, követve a sémát [5].
Csali és Kapcsoló (Bait and Switch): Miszerint a felhasználó elfogad bizonyos feltételeket, arra kényszeríti, hogy egy bizonyos tevékenységet megtegyen, de utána pedig helyette más nem kívánatos tevékenység történik, amire a felhasználó nem számít.

Megerősítő szégyen (Confirmshaming): A felhasználót választási lehetőségek elé állítják, a visszautasítás lehetőség pedig, olyan lehetőségnek minősül, ami megszégyeníti a felhasználókat.

Álcázott hirdetések (Disguised Ads): Hirdetéseknak álcázott tartalom vagy navigáció, abból a célból, hogy rájuk kattintson a felhasználó.

Kényszerített folytonosság (Forced Continuity): Amikor eljön az ingyenes próbaidőszak vége egy szolgáltatásnál, után a hitelkártyája a felhasználóknak mindenféle figyelmeztetés nélkül némán megterhelődik. Bizonyos esetekben ez még inkább megnehezíti a felhasználóknak a tagságuk lemondását.

Baráti spam (Friend spam): Az oldal a felhasználó e-mailjeit vagy közösségi média engedélyeit kéri. Az oldal a felhasználó összes kapcsolattartójának elküld egy olyan üzenetet, amely azt állítja, hogy a felhasználótól származik.

Rejtett költségek (Hidden Costs): Eljut a fizetési folyamat utolsó lépéséhez a felhasználó, majd bekövetkeznek váratlan események a felhasználó számára ilyenkor kerülnek felfedezésre a váratlan költséget, többek közt ilyen váratlan költségek lehetnek például szállítási költségek, adó stb., amelyek nem voltak feltüntetve a vásárlás kezdetekor.

Félre irányítás (Misdirection): A tervezés során úgy készítették el ezt a technikát, hogy a felhasználó figyelmét célzottan egy adott dologra vigye, hogy a másik adott ügyletről elterelje a figyelmét.

Ár-összehasonlítás megelőzése (Price Comparison Prevention): A kiskereskedő nagyban megnehezíti az árainak összehasonlítását egy másik termékkel, ezáltal így a felhasználó képtelen lesz megalapozott döntést hozni.

Adatvédelem Zuckering (Privacy Zuckering): A felhasználókat becsapják, olyan szempontból, hogy a felhasználó abban a meggyőződésben folytatja tovább az életet, hogy nem osztott meg magáról több információt, mint amire szánta magát. De ez valójában nem így van. Maga a technika Mark Zuckerberg, a Facebook vezérigazgatója után kapta a nevét.

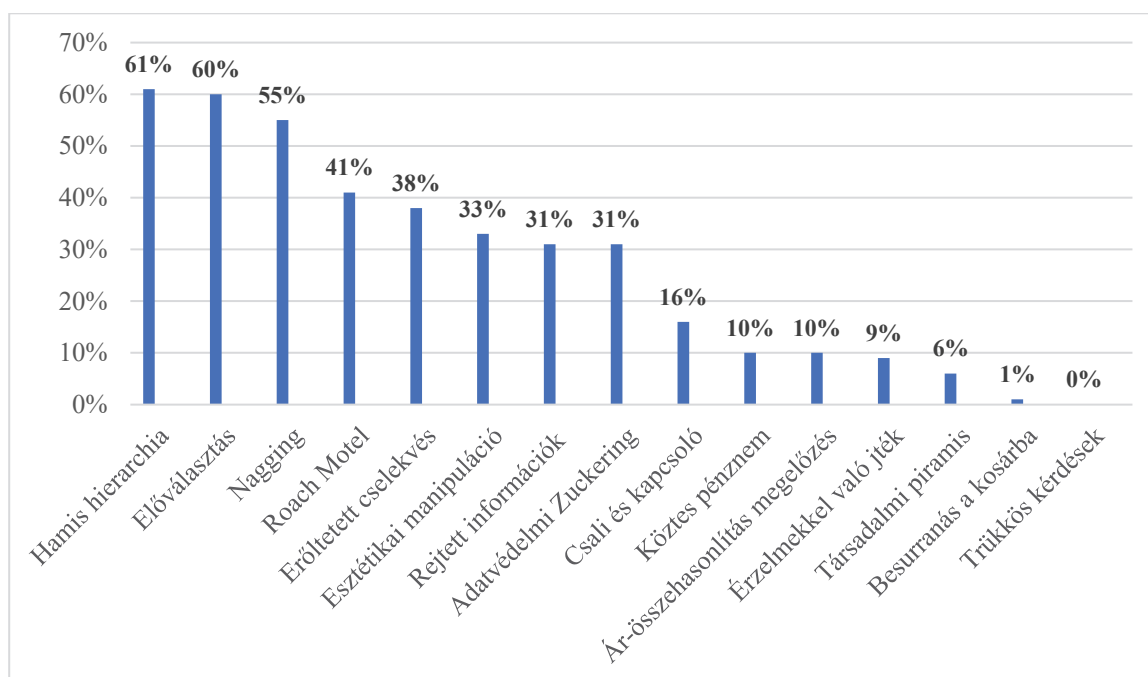
Roach motel: Ezen technika egy olyan helyzetet ír le, ami megkönnyíti a felhasználó számára, hogy egy bizonyos helyzetbe belekerüljön, viszont ebből nagyon nehezen tud majd kijutni. Ilyen például a feliratkozás, de miután megtörtént a feliratkozás utána előfordulhat, hogy nem lehet róla leiratkozni esetleg a fiók törlése is nehézségeket okozhat majd a felhasználóknak.

Besurranás a kosárba (Sneak into Basket): Amikor a fogyasztó megpróbálja megvásárolni az általa kiválasztott termékeket, akkor valahol a vásárlási út során a webhely további elemeket helyez be a vásárló kosarába, általában akkor történhet meg ezen tevékenység amikor a vásárló ráklikkel a leiratkozás nevezetű gombra, jelölő négyzetre.

Trükkös kérdések (Trick Questions): Megjelenik egy kérdés amire aztán a felhasználó válaszol majd egy pillanat múlva gyorsan feltesz még egy kérdést az oldal vagy az applikáció.

5. Dark patterns technikákról szóló kutatás

A következő kutatásban pedig népszerű mobil alkalmazásokban elemezték ki a dark patterns technikákat. Az alábbiak szerint alakultak az eredmények, a kutatás során 240 mobil alkalmazást vizsgáltak meg a kutatók 589 felhasználóval online, az elemzések pedig bemutatták, hogy a mobil alkalmazások 95%-a tartalmaz egy vagy több mintát, aza az alkalmazások csaknem 10%-a tartalmazott 0, 1 vagy 2 mintát, az alkalmazások 37% -a 3-6 mintát tartalmazott, míg a fennmaradó 49% -ban 7 vagy több mintát rejtettek az alkalmazások. A népszerű alkalmazások átlagosan legalább hét különböző típusú megtévesztő felületet tartalmaznak. A kutatók azon következtetésre jutottak, hogy a felhasználók nem ismerik fel ezen mintákat, viszont jobban tudnak teljesíteni a rosszindulatú minták felismerésében, ha tájékoztatják erről a kérdéstről őket [6]. (Lásd 1.ábra)



1. ábra. Az alkategóriák legalább egy előfordulásával rendelkező alkalmazások százalékos arányát mutatja be., mely ezen cikkből származik Forrás: *Di Germino et al. 2020:6 (Saját szerkesztés)*

6. Összegzés

A dark patterns-ről elmondható, hogy jelen van az életünkben. Folyamatosan alkalmazzák a különböző weboldalak/webshopok ezen technikákat a felhasználók megtévesztése érdekében. Mindezt teszik azért, hogy a vállalat profitáljon belőle. Számos minta megjeleink a felhasználóknak az elsődleges interakciójában. Azonban sokak ezen technikákat nem észlelik időben, illetve nem tudják őket beazonosítani. Pontosan ennek okán áldozatul eshetnek a csalásoknak. De mindez könnyen elkerülhető lenne, ha a felhasználók sokkal tájékozottabbak lennének ezen a téren és tudatosan használnák az internetet. Ezen cikknek pedig a célja, hogy hozzá járuljon ahhoz, hogy ezen technikákat jobban megtudják ismerni az internetfelhasználók.

7. Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] Mathur, A., Acar, G., Friedman, M. J., Lucherini, E., Mayer, J., Chetty, M., & Narayanan, A. (2019). Dark patterns at scale: Findings from a crawl of 11K shopping websites. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 3(CSCW), 1-32.
- [2] Calo, R. (2013). Digital market manipulation. *Geo. Wash. L. Rev.*, 82, 995.
- [3] Waldman, A. E. (2020). Cognitive biases, dark patterns, and the ‘privacy paradox’. *Current opinion in psychology*, 31, 105-109.
- [4] Kim, W. G., Pillai, S. G., Haldorai, K., & Ahmad, W. (2020). Dark patterns used by online travel agency websites. *Annals of Tourism Research*, 103055
- [5] Özdemir, Ş. (2020). Digital nudges and dark patterns: The angels and the archfiends of digital communication. *Digital Scholarship in the Humanities*, 35(2), 417-428.
- [6] Di Geronimo, L., Braz, L., Fregnan, E., Palomba, F., & Bacchelli, A. (2020, April). UI dark patterns and where to find them: a study on mobile applications and user perception. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-14).
- [7] Bencsik, A., & Eisingerné, B. B. (2013). Integráció-menedzsment és a tudásmegosztás kulturális háttere: mozaikcsaládok „gyerekszobái” kontra munkahelyi együttélés. *Humánpolitika szemle*, 0865-7009 20 1-2 10-25, 2220318.
- [8] Eisingerné, B. B., Ercsey, I., & Gábora, B. (2014). Az EYOF 2017-ben rejlő potenciál kiaknázása. *Nemzetek turizmusa*, pp. 228-250, 2588924.

Social Engineering a közösségi médiában

Social Engineering in Social Networking Sites

Koteczki Réka^a

^a Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont
koteczki.reka08@gmail.com

Absztrakt: A social engineering támadások növekvő tendenciát mutatnak és a kiberbiztonságot folyamatosan gyengítik. Ez a tanulmány a social engineering és a közösségi média kapcsolatát hivatott megvizsgálni. A Social engineering (SE) a biztonsági rendszerekre irányuló támadás, amely az emberi sebezhetőségeket kihasználva teljesíti a támadó vágyait. A social engineer olyan technikákat alkalmaz a céljai elérésének érdekében, mint a manipuláció, meggyőzés, megtévesztés vagy a bizalom kiaknázása. A szakirodalmi kitekintés után világszintű adatokkal támasztom alá a téma jelentőségét és aktualitását. A kvalitatív kutatásom célja feltárni azokat a forrás jellemzőket, amelyek befolyásolják a Facebook felhasználókat a social engineering támadások észlelésében. Ennek a vizsgálatára a szakirodalom szerint megalapozott kvalitatív kutatást végeztem el, Facebook-profil megfigyeléseket, valamint mélyinterjúkat. A kutatásom eredménye képpen 15 db Facebook specifikus forrás jellemzőt állapítottam meg, melyek az alábbiak: (1) Ismerősök száma, (2) Közös ismerősök száma, (3) Posztok száma, (4) Közös hiedelmek, (5) Igazi név használata, (6) Lakóhely, (7) Profil létrehozásának ideje, (8) Profilképek mennyisége és minősége, (9) Híresség, (10) Szakképzettség, (11) Megnyerő külső, (12) Jó íráskészség, (13) Viszonzás, (14) Szexuális kompatibilitás és a (15) Tekintély.

Kulcsszavak: social engineering, social engineering támadások, közösségi média

Abstract: Social engineering attacks are on the rise and are constantly weakening cybersecurity. This study is designed to examine the relationship between social engineering and social media. Social engineering (SE) is an attack on security systems that exploits an attacker's desires by exploiting human vulnerabilities. A social engineer employs techniques such as manipulation, persuasion, deception or trust exploitation, in order to achieve his goals. After the literature review, I support the significance and actuality of the topic with worldwide data. My qualitative research aims to explore the source characteristics that influence Facebook users in perceiving social engineering attacks. To investigate this, I conducted a qualitative research based on the literature, Facebook profile observations, and interviews. As a result of my research, I identified 15 Facebook-specific source characteristics, which are the following: (1) Number of friends, (2) Number of common friends, (3) Number of posts, (4) Common beliefs, (5) Use of real name, (6) Residence, (7) Time of profile creation, (8) Quantity and quality of profile pictures, (9) Celebrity, (10) Qualifications, (11) Good looks, (12) Good writing skills, (13) Reciprocity, (14) Sexual compatibility and (15) Prestige.

Keywords: social engineering, social engineering attacks, social networking sites

1. Bevezetés

Az online világ csalogó egyre kifinomultabb és megtévesztőbb gyakorlatokkal, valamint módszerekkel célozzák meg a fogyasztókat különböző csatornákon keresztül. Ilyen csatorna lehet többek között a közösségi média felületek, e-mailek, vagy a telefonos megkeresések. Ezeknek az online térben elkövetett bűncselekményeknek messzemenő és káros következményei lehetnek az egyének és a tágabb társadalom számára egyiránt. A károk nem

csak pénzügyi szempontból jelentősek, hanem súlyos érzelmi és fizikai károkat is jelentenek. A social engineering támadások növekvő tendenciát mutatnak és a kiberbiztonságot folyamatosan gyengítik. Céljuk, hogy manipulálják az egyéneket és a vállalkozásokat annak érdekében, hogy fontos információkat és adatokat hozzanak nyilvánosságra, melyek később a támadók előnyére válnak (Hadnagy, 2010). A social engineering egy olyan módszer, amely az emberi természet gyengeségeinek kiaknázására és az átlagember naivitásának kihasználására törekszik. A támadások sikere jelentősen függ a modern megelőző eszközöktől, meglévő biztonsági rendszerektől, valamint a bizalmas adatokkal foglalkozó szakképzett személyzettől. A vállalatok innovatív és interaktív képzési programokkal töreksenek arra, hogy a legmodernebb megelőzési technikákkal felkészítsék munkatársaikat a támadások elkerülésére (Aldawood és Skinner, 2019).

A közösségi hálózatok a mai legnépszerűbb kommunikációs médiumok és több millió aktív felhasználót készítenek arra, hogy megosszák és kifejezzék gondolataikat, fényképeiket és a tartózkodási helyüket másokkal. Ez a népszerűség vonzotta azokat a kiberbűnözőket is, akik a közösségi hálózatokat illegális tevékenységeik gazdag helyszínének tartják. A koronavírus oltásokkal kapcsolatos hamis állítások és összeesküvések elterjedtek a közösségi média platformokon, beleértve a Facebookot és a Twittert. Ennek következményében, a vállalat több mint 12 millió darab tartalmat távolított el a COVID-dal és az oltásokkal kapcsolatosan, melyeket az egészségügyi szakértők félretájékoztatóként jelöltek meg (Facebook Inc, 2021).

A tanulmány a következő módon épül fel: a bevezető rész után egy rövid szakirodalmi áttekintés következik, melyet a szekunder és a primer adatok bemutatása követ. A szakirodalom feldolgozása során törekedtem arra, hogy a social engineering (SE) technika, azok számára is érthetővé váljon, akik nem hallottak még erről a kifejezésről. A téma ismertetése és a fogalom meghatározása után felvázolom a SE rendszertanát, majd bemutatom a leggyakoribb SE támadásokat a közösségi médiában. Ebben a részben kitérek továbbá a social engineerek által alkalmazott pszichológiai manipulációs technikákra is. A világszintű kitékintés fejezetben adatokat találhatnak a Facebookon megtalálható hamis profilok arányáról, valamint különböző híres ransomware támadásokról. A szekunder adatok mellett rövid bemutatásra kerül a Facebookkal kapcsolatosan végzett kvalitatív kutatásom, mely során 15 db Facebook-specifikus internetes forrás jellemzőt állapítottam meg, melyek befolyásolják az egyéneket forrás észlelése során.

2. Szakirodalmi áttekintés

A tanulmányomban megtalálható irodalmi áttekintést szisztematikus irodalmi áttekintés alapján készítettem el. A szakirodalom felleléséhez különböző online adatbázisok segítségét használtam, mint a Science Direct, Web of Science, Scopus vagy a Google Scholar.

A social engineering kifejezést először John Gray, egy brit közgazdász használta 1842-ben az „An efficient Remedy for the Distress of Nations” című könyvében (Gray, 1842). Az Oxford Angol Szótár szerint a social engineering kifejezéshez két külön jelentés társul. Az első jelentés szerint egy központosított tervezés a társadalmi változások kezelésére, valamint a társadalom jövőbeli fejlődésének és viselkedésének szabályozására. A második jelentés alapján pedig a megtévesztés művészete annak érdekében, hogy az ember személyes adatokat áruljon el, vagy önkéntelenül engedélyt és hozzáférést biztosítson egy számítógépes rendszerhez vagy hálózathoz. Az első értelmezés a politika területén, a második pedig a kibertérben értelmezhető (Hatfield, 2018).

A social engineering támadások több szempontból több kategóriába sorolhatóak. Entitás alapján két kategóriát különböztetünk meg: emberi vagy szoftveres. Négy kategóriába sorolhatóak a támadás végrehajtásának módja szerint: (1) társadalmi, (2) technikai, (3) fizikai

és (4) társadalmi-fizikai alapú. Ember alapú támadásról akkor beszélünk, ha azt egy személy közvetlenül hajtja végre. Más szóval a támadó közvetlen interakcióba lép a célponttal információ szerzés céljából. Ennél a támadástípusnál a célpontok száma korlátozottabb a szoftver által végrehajtott támadásokkal szemben. Ide tartozik többek között az identitás lopás, amely megtörténhet céges környezetben is. Mivel az alkalmazottak gyakran nem ismerik az összes munkatársukat, így a támadó könnyen kiadhatja magát egy karbantartónak, rendszer gazdának, vagy akár egy új munkatársnak is (Salahdine és Kaabouch, 2019). A szoftver alapú social engineering, azokra a támadásokra vonatkozik melyeket szoftverek segítségével hajtanak végre a kívánt információk megszerzése érdekében. A szoftver alapú támadások közé soroljuk többek között az adathalászatot és annak alfajait, valamint a kártékony programokat és annak különböző fajtáit (Wang, 2020).

A közösségi média platformokon alkalmazott social engineering támadások közül a leggyakoribb fajták közé tartozik az adathalászat, clickjacking, identitás klónozás, személyazonosság-lopás, spamek és a fordított social engineering. Az adathalász támadások a social engineerek által elkövetett leggyakoribb támadások (Salahdine és Kaabouch, 2019). Az egyik legrégebbi és legegyszerűbb módja annak, hogy az online felhasználotól személyes és pénzügyi adatokat tudjanak ellopni (Salahdine és Kaabouch, 2019). A közösségi média platformokon alkalmazott adathalászatot olyan információk gyűjtésére használják, mint az e-mail címek vagy bármilyen információ, amely segíti a támadókat a felhasználók becsapásában.

A social engineerek különféle pszichológiai manipulációs technikát alkalmaznak annak érdekében, hogy elnyerjék az áldozatok bizalmát és különféle bizalmas információkhoz jussanak (Schaab, 2017). A meggyőzés technikája szorosan összekapcsolódik a social engineering technikák alkalmazásával, melyet számos tanulmány részletesen vizsgál (Rusch, 1999; Gragg, 2003; Ferreira, 2015; Cialdini 2009). A social engineer olyan technikákat alkalmaz a céljai elérésének érdekében, mint a manipuláció, meggyőzés, megtévesztés vagy a bizalom kiaknázása (Algarni, 2016). A manipuláció nagyon hasonlít a meggyőzésre. A manipuláció és a meggyőzés érzelmeket és értelmet is használ a cél eléréséhez, továbbá a küldő hitelessége is létfontosságú szerepet játszik mindkettőben (Chaudhuri, 2012). Az emberek általában azt gondolják, hogy jól érzékelik a megtévesztést és a hazugságokat és hogy nem lehet őket átverni. A kutatások azonban azt mutatják, hogy az emberek gyengén teljesítenek a megtévesztés észlelésében (Grazioli 2004). Az embereket motivációik és indítatásai befolyásolják, a social engineerek pedig visszaélnék ezekkel az emberi jellemzőkkel az áldozatok becsapásának érdekében. Eisingerné és szerzőtársa (2014) a szakirodalmi áttekintés részben ismertette a gerilla marketinget az önkéntesek bevonásával kapcsolatosan a győri EYOF kapcsán. A gerilla marketingben fontos szerepet játszik a kreativitás és a figyelemfelkeltés. A gerilla marketing mellett a marketingkommunikációnak is jelentősége van a várostermék kapcsán, mivel az identitás menedzselése leginkább a marketingkommunikáció eszköztárán keresztül valósul meg (Eisingerné, 2014). A marketingben etikus módszerrel győzik meg a potenciális ügyfeleket az adott termék, márka vagy szolgáltatás megvásárlásának előnyeiről, míg a social engineering egy etikátlannak tekintett módszer az áldozat manipulálására (Salahdine és Kaabouch, 2019).

Összeségében elmondható, hogy a social engineering fenyegetések a kibertérben komoly problémát jelentenek, mind a szervezetek, mind az egyének számára. A támadások kivédése és elkerülése érdekében fontos a biztonságtudatosság növelése és az egyének tanítása.

3. Világszintű kitekintés

A közösségi hálózatok a social engineering támadások alapját képezik, mivel ezeken a helyeken a támadók információkat gyűjtenek az áldozatokról, amely a későbbi célzott támadásokat

jelentős mértékben megkönnyítik (Albladi és Weir, 2018). A Facebook 2020-as jelentése információkat tartalmaz a platformon található hamis profilok arányáról. 2019-ben a közösségi hálózat duplikált profiljainak az arányát 11%-ra (kb. 275 millió felhasználói profil) becsüli. A hamis és nem kívánatos profilok körülbelül 5%-ot tesznek ki (Statista, 2020). A Facebook, Inc. naponta több millió hamis fiókot blokkol, legtöbbit már a létrehozáskor. 2020 októbere és decembere között azonban 1,3 milliárd hamis Facebook profil került letiltásra, amelyek sikerén több mint, 35 000 ember dolgozott.

A malware a szoftver alapú támadások leggyakoribb fajtájának számít, amely igazából az összes rosszindulatú program összefoglaló neve. A SE-el kapcsolatos tudományos írásokban a malwarek közül a zsaroló program (ransomware), valamint a trójai programok említése a leggyakoribb (Salahdine és Kaabouch, 2019). A ransomware támadások példaként három híres esetet emelek ki. A Ryuk, rosszindulatú vagy adathalász e-maileken keresztül terjedt el, amelyek veszélyes linkeket és mellékleteket tartalmaznak. A teljes rendszer kiadásáért fizetendő váltságdíj összege meghaladhatja a 300 000 USD-t, így a Ryuk a történelem egyik legdrágább váltságdíjának minősül. Az FBI szerint a Ryuk támadásai már több mint 60 millió USD kárt okoztak világszerte. A SamSam-ot először 2015-ben azonosították, de 2018-ban sokkal nagyobb hangsúlyt kapott, miután megfertőzte Atlanta városát, a Colorado Közlekedési Minisztériumot és az Egyesült Államok San Diego-i kikötőjét. Ugyanebben az évben két iráni hackert vádoltak azzal, hogy több mint 200 szervezetet és vállalatot fertőztek meg ezzel a vírussal. A harmadik híres ransomware támadás pedig a WannaCry. A veszteség mennyiségét tekintve a történelem egyik legpusztítóbb ransomware-támadását a 2017-ben elindított WannaCry okozta. Az akkori becsült érték 4 milliárd USD veszteség volt. A WannaCry e-mailes csalások vagy adathalász útján terjedt el. (Gatefy, 2021).

A témához kapcsolódóan kvalitatív kutatást végeztem, melynek célja, hogy feltárjam azokat a forrás jellemzőket, amelyek befolyásolják a Facebook felhasználókat a social engineering támadások észlelésében. Kutatásom Algarni (2016) tanulmányán alapszik: *The impact of source characteristics on users' susceptibility to social engineering victimization in social networks*. A SE technikákkal kapcsolatos tényezők feltárásának az egyik legnagyobb kihívása az, hogy amikor megkérdezik az embereket, hogyan csapták be őket, általában azt válaszolják őket nem lehet becsapni és tisztában vannak a megtévesztés gyakorlataival. A legjobb esetben is azt vallják, hogy elképzelhetőleg már áldozatul estek ilyen fajta támadásoknak, azonban erről nem tudnak (Grazioli, 2004). Algarni (2016) a forrás hitelességének négy különböző dimenzióját határozta meg. Ezek közül az első három a szakirodalom alapján került meghatározásra, a negyedik dimenzió pedig a kvalitatív kutatások eredményeként jött létre. A négy dimenzió: 1. Észlelt őszinteség, 2. Észlelt kompetencia, 3. Észlelt vonzalom, 4. Észlelt méltóság. A kutatásom során Facebook profil megfigyeléseket, valamint mélyinterjúkat alkalmaztam, 10 alany részvételével. A profilmegfigyelések és az interjúk által 15 db Facebook specifikus forrásjellemezőt állapítottam meg, melyek befolyásolják az egyéneket a forrás észlelésekor: (1) Ismerősök száma, (2) Közös ismerősök száma, (3) Posztok száma, (4) Közös hiedelmek, (5) Igazi név használata, (6) Lakóhely, (7) Profil létrehozásának ideje, (8) Profilképek mennyisége és minősége, (9) Híresség, (10) Szakképzettség, (11) Megnyerő külső, (12) Jó íráskészség, (13) Viszonzás, (14) Szexuális kompatibilitás és a (15) Tekintély. Ezek a jellemzők azonban egyénenként eltérőek, vannak olyan jellemzők, amely egyes egyéneket jobban befolyásolnak, másokat pedig kevésbé. A forrásjellemezők mellet azonban fontos megemlíteni a kérésekhez társított meggyőző üzenetek is. Egy forrás megítélésekor maga az üzenet is nagy jelentőséggel bír. A kutatásomban ezeknek a jelentőségét azonban nem vizsgáltam.

Összeségében elmondható, hogy a social engineering fenyegetések a kibertérben komoly problémát jelentenek, mint a szervezetek, mint az egyének számára. A támadások kivédése és elkerülése érdekében fontos a biztonságtudatosság növelése és az egyének tanítása. A modern

képzési módszerek, mint a szimulációs játékok idő és pénz igényesek, azonban véleményem szerint a vállalatoknak egy fajta befektetésként kéne a különböző biztonságtudatossági programokra gondolniuk. Véleményem a szerint az általam vizsgált kérdés a jövőben a technika fejlődésével egyre inkább előtérbe fog kerülni.

Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- Albladi, S. M., & Weir, G. R. (2018). User characteristics that influence judgment of social engineering attacks in social networks. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 8(1), 1-24.
- Aldawood, H., & Skinner, G. (2019). Reviewing cyber security social engineering training and awareness programs—Pitfalls and ongoing issues. *Future Internet*, 11(3), 73.
- Algarni, A. A. M. (2016). The impact of source characteristics on users' susceptibility to social engineering Victimization in social networks (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- Chaudhuri, A. (2012). *Emotion and Reason in Consumer Behavior*. Routledge.
- Cialdini, R. B. (2009). *Influence: the psychology of persuasion* Epub editi., New York: Collins.
- Eisingerné, B. B., Ercsey, I., & Gábora, B. (2014). Az EYOF 2017-ben rejlő potenciál kiaknázása. *Nemzetek turizmusa*, pp. 228-250, 2588924.
- Eisingerné, B. B., & Gábora, B. (2014). Most mutasd meg! Önkéntesek bevonásának lehetőségei a győri EYOF kapcsán. „Marketing megújulás”, pp. 203-212, 2726523.
- Facebook, Inc.: How We're Tackling Misinformation Across Our Apps [Online]. Elérhető: <https://about.fb.com/news/2021/03/how-were-tackling-misinformation-across-our-apps/> (Hozzáférés: 2021.04.21)
- Ferreira, A., Coventry, L., & Lenzini, G. (2015, August). Principles of persuasion in social engineering and their use in phishing. In *International Conference on Human Aspects of Information Security, Privacy, and Trust* (pp. 36-47). Springer, Cham.
- Gatefy: 7 real and famous cases of ransomware attacks [Online]. Elérhető: <https://gatefy.com/blog/real-and-famous-cases-ransomware-attacks/> (Hozzáférés: 2021.05.02)
- Gragg, D. (2003). A multi-level defense against social engineering. *SANS Reading Room*, 13, 1-21.
- Gray, J. (1842). *An efficient remedy for the distress of nations*. A. and C. Black.
- Grazioli, S. (2004). Where did they go wrong? An analysis of the failure of knowledgeable internet consumers to detect deception over the internet. *Group Decision and Negotiation*, 13(2), 149-172.
- Hadnagy, C. (2010). *Social engineering: The art of human hacking*. John Wiley & Sons.
- Hatfield, J. M. (2018). Social engineering in cybersecurity: The evolution of a concept. *Computers & Security*, 73, 102-113.

- Rusch, J.J.J., 1999. The “Social Engineering” of Internet Fraud. Internet Society’s INET’99 conference, pp.1–12. Elérhető: http://www.isoc.org/isoc/conferences/inet/99/proceedings/3g/3g_2.htm.
- Salahdine, F., & Kaabouch, N. (2019). Social engineering attacks: a survey. Future Internet, 11(4), 89.
- Schaab, P., Beckers, K., & Pape, S. (2017). Social engineering defence mechanisms and counteracting training strategies. Information & Computer Security.
- Statista: 16% of all Facebook accounts are fake or duplicates [Online]. Elérhető: <https://www.statista.com/chart/20685/duplicate-and-false-facebook-accounts/> (Hozzáférés: 2021.04.14)
- Wang, Z., Sun, L., & Zhu, H. (2020). Defining Social Engineering in Cybersecurity. IEEE Access, 8, 85094-85115.

Tesztcélú önvezető jármű számítógépes szimulációjának alkalmazhatósági kérdései

Questions regarding the Applicability of the Computer Simulation of a Test-Purpose Self-Driving Vehicle

Krecht Rudolf^a, Unger Miklós^b

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

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

Absztrakt: Az önvezető járművek szoftveres fejlesztéseinek terén fontos szerepet játszanak a számítógépes szimulátorok. Ezen eszközök lehetővé teszik a szoftveres megoldások időjárás- és helyszíntől független, hardverigénymentes (jármű, szenzorok stb.) előtesztelését. Ezáltal a szoftverfejlesztés során felmerülő adatgyűjtési feladatok, iteratív fejlesztések felgyorsíthatók, a tesztelés előtt álló kész megoldások többszörösen ellenőrizhetők, minimalizálva a valós járművön végzett tesztek idő- és erőforrásigényét. A Járműipari Kutatóközpont a Nissan Leaf tesztcélú jármű esetében sikeresen alkalmaz LGSVL számítógépes szimulátort a szoftveres fejlesztések előtesztelésére. Az alkalmazás során felmerült a számítógépes szimulációk alkalmazhatóságának általánosíthatósága, a fejlesztett szimulációk esetleges hibáinak vizsgálata. Az alkalmazhatósági vizsgálat kiemelten fontos olyan szempontból, hogy pontosan megállapíthatóak legyenek a szimulációk korlátai. A cél a szimulátor olyan mértékű validációja, amely által megállapíthatóak azon scenáriók, amelyek esetében a szimulátor alkalmazása csak kis mértékben hasznos, vagy akár teljesen mellőzendő, valamint megállapíthatóak azon esetek is, amelyekben a szimulátor kiemelkedően eredményes, magasfokú megbízhatósága miatt átlagosnál jobb fejlesztésvalidációt biztosít. Ezen cikk a szimulátor megbízhatósági, alkalmazhatósági kérdéseit elemzi elméleti síkon, az alkalmazott szimulátor és szimulációs környezet tulajdonságait, jellemzőit vizsgálva.

Kulcsszavak: számítógépes szimuláció, validáció, önvezető

Abstract: Computer simulations play an important role in the software development process of self-driving vehicles. These simulations decrease the hardware (test vehicle, sensors etc.) dependency of sensor data collection processes, algorithm tests and iterative software development which requires repetitive testing. By the usage of computer simulations, initial faults can be omitted before real-life tests. Furthermore, iterative testing can be automatised and accelerated. The Research Center for Vehicle Industry successfully applies computer simulations of the Nissan Leaf test-purpose vehicle created using LGSVL vehicle simulator. During the application of these simulations, the question of general applicability has been risen. Small faults of the computer simulation might cause misleading results, or there might be specific test scenarios that cannot be replicated by the usage of computer simulations. This article discusses the specified questions on a theoretical basis by analysing the characteristics of the applied computer simulations and simulator environment.

Keywords: computer simulation, validation, self-driving

1. Bevezetés

A Járműipari Kutatóközpont sikeresen alkalmaz LGSVL számítógépes szimulációs környezetben készített szimulációkat szoftveres fejlesztések tesztelésére, szenzoradatgyűjtésre. A szimulátorok alkalmazása közben kérdések merültek fel a szimulációk alkalmazhatóságának általánosíthatóságával kapcsolatban. A szimulátorok alkalmazási tapasztalatai azt mutatják, hogy egyes scenáriók esetében a szimulátoros tesztelés megfelelő visszajelzést adott, lehetővé tette a valós tesztek igényének minimalizálását. Előfordultak olyan feladatok is, melyek esetében a szimulációk alkalmazása csak részben adott alkalmazható eredményt, kiegészítő tesztek alkalmazására volt szükség. A szimulációk valósághoz képesti eltérései, amelyek meggátolják a teljeskörű használhatóságot, jellemzően három szimulációalkotást jellemző területről erednek. Ezen területek a szenzorok emulációját, a fizikai motorok alkalmazását, valamint a megfelelő (részletességű) környezeti modellek létrehozását tartalmazzák. Jelen cikk célja a felsorolt területek vizsgálata, elemezve az alkalmazott LGSVL számítógépes szimulációs környezetet. A cél a szimulációk korlátainak megállapítása alkalmazhatóságuk javítása érdekében. A korlátok ismeretében megállapíthatók azon scenáriók, melyek speciális szimulációalkotási lépéseket igényelnek, kijelölhetők olyan feladatok, melyek esetében számítógépes szimulációk csak korlátozottan alkalmazhatók.

2. Szimulációalkotás, az LGSVL szimulátor

Az LGSVL járműszimulátor a Unity játékmotorra épül, ebből kifolyólag a szimulátorhoz készítendő járműmodellek a Unity Editor szerkesztővel készíthetők el. Mivel a cél 3D szimuláció készítése, szükség van egy geometriai és vizuális szempontból valósághű számítógépes (CAD) modellre [1]. A Nissan Leaf és a SZEmission jármű esetében a modellezés Autodesk Inventor segítségével kezdődik. Az Inventor használata lehetővé teszi a pontos parametrikus modellezést, elérve, hogy az alkalmazott CAD modell geometriai szempontból a valós jármű megfelelője legyen. Ezen szoftver segítségével megtörténik a járművön található szenzorok modelljének elhelyezése is. A következő lépés a modell felkészítése a Unity Editorban történő használatra. A Unity Editor alapvetően .FBX (FilmBoX) kiterjesztésű fájlok importálására alkalmas. Ezen kívül számos előírást ad az importálandó, modellezendő járművekre vonatkozóan. Az előírások vonatkoznak többek között a járműelemek megfelelő elnevezésére és hierarchiába rendezésére. Erre egy konkrét példa a kerekek modelljeinek megfelelő elnevezése. Fontos továbbá, hogy a Unity Editor alapvetően külön kezeli a vizuális és az ütközési (collision) geometriát. Az ütközési geometria olyan egyszerűsített számítógépes 3D-reprezentáció, amely alapján az adott objektumok térfoglalása, pozíciója, valamint az objektumok egymással történő ütközése meghatározható. A kerekek esetében az ütközési geometria a szerkesztőn belül is definiálható, de a karosszéria ütközési modelljét még a CAD modell létrehozása során el kell készíteni. Fontos szempont, hogy az ütközési modellt kellően alacsony poligonszám jellemezze a könnyű kezelhetőség, kezelés érdekében. A CAD modell elkészültét követően a szimulált jármű összeállítása a következő lépésekből áll:

- CAD modell (.fbx) importálása
- Kerekek ütközési modelljének megadása, pozicionálása
- Világítótestek (helyzetjelző, irányjelző, féklámpa) gizmo objektumok általi megadása
- Base Link pozíciójának definiálása. A Base Link a járműnek (robotnak) egy rögzített pontja, amelyhez képest a szenzorok elhelyezése megtörténik. Algoritmusfejlesztés során ez a pont jelenti a robotot, ehhez képest szokás megadni a robot további mozgó alkatrészének (pl. kerekek) pozícióját is.
- LGSVL szimulátor által megvalósított kommunikáció létrehozása (C#).

Kiemelkedő fontosságú a szenzoradatok ROS alapú elérhetősége. Az LGSVL szimulátor biztosít ROS 1 rendszerrel alkalmazható bridge megoldást a Rosbridge csomag által. Ez a csomag lehetővé teszi ROS üzenetek küldését és fogadását JSON konfiguráció segítségével, és ez a megoldás teszi lehetővé a kapcsolatot a Unity alapú szimulátor és az ROS rendszer között. Ez a bridge megoldás konfiguráció, beüzemelés után elérhető és alkalmazható, megfelelően működik a legtöbb járműszenzor esetében. Kivételnek bizonyult a szimulátor által emulált CAN üzenetek küldése. Az emulált CAN üzenetek szerepe a járműre vonatkozó legfontosabb adatok (sebesség, kormányaszög, fedélzeti berendezések állapota stb.) kiküldése. Ezen adatok közül esetünkben különösen fontos a jármű sebessége és kormányaszöge. Az emulált CAN üzenetek küldése érdekében módosítandó az LGSVL szimulátor forráskódja. Az alábbi kódrészlet az LGSVL forráskódjának, az ROS bridge kódcsomagnak az eleme, a RosBridgeFactory.cs kód függvénye.

3. Szimuláció felépítéséből adódó hibalehetőségek

Minden számítógépes szimulátor felépítéséből adódó szimulációs hibalehetőségekkel rendelkezik. Az LGSVL számítógépes szimulátor esetében ezen hibalehetőségek nagy mértékben a Unity játékmotor alkalmazásából erednek, ezen kívül fellelhetők olyan kockázati tényezők is, amelyek egyes komponensek (pl. szenzorok) emulációjának elvéből adódnak. Az LGSVL szimulátor esetében a legtöbb szimuláció elemét képző komponens Unity játékmotorban megtalálható elemekre épül, a játékmotor szintérgráfiájára alapozva. Így egyes játékmotor-elemek moduláris építőelemei a szimuláció komponenseinek. Jelen esetben a következő kategóriák szerinti komponensek megbízhatósága kerül vizsgálatra:

- Szenzorok emulációja
 - Lidar szenzor
 - Radar szenzor
- Fizikai motor megbízhatósága

A két vizsgált csoport kellően lefedi a szimulátor jellemzőiből adódó hibalehetőségeket. A csoportok további komponensek hibaforrás-vizsgálatával bővíthetők, jelen cikk szenzorok tekintetében csak a megnevezett elemek vizsgálatára tér ki, a fizikai motor valóságosságát általános kérdésként kezeli.

3.1. Szenzorok emulációja

Az alkalmazott LGSVL szimulációs környezet az alkalmazható szenzorok emulációját a Unity játékmotor révén valósítja meg, a játékmotorban elérhető komponensekre épít. Az emulációk célja az, hogy a szimulációban szereplő szenzor a valós szenzornak megfelelően viselkedjen, azaz azonos bemenet esetén azonos kimenetet adjon. Az emulált szenzorok működési elvére nem vonatkozik megkötés. Amennyiben az emulált szenzor működési elve nagymértékben eltér a valós szenzor működésétől, hibaforrások keletkeznek, amelyek legtöbb esetben nehezen kompenzálható és előrejelezhető, csak egyes scenáriókban előforduló véletlenszerű hibákat eredményeznek.

Az LGSVL szimulációs környezet több technikai módot alkalmaz lidar szenzorok emulációjára, melyek alapelve hasonló. Az emuláció Unity játékmotorban megtalálható komponensekből tevődik össze, alapja a játékmotorban szintén megtalálható kameraszenzor objektum. A játékmotorban megvalósított kameraszenzor működési elve hasonlít a valós lidarok működési elvére: adott paraméterű sugarak indulnak ki egy közös pontból a kamera látómezejének megfelelően. Amint a sugarak objektumhoz érnek, a sugár és az objektum

metszéspontja a kamera objektum képének egy pixeleként kerül rögzítésre. Az LGSVL szimulátorban emulált lidar szenzor erre a működési elvre épül, azzal kiegészítve, hogy az objektumok mélységpufferének alkalmazásával a metszéspontok koordinátái kerülnek rögzítésre, kialakítva a lidar szenzor kimeneti pontfelhőjét. Az emulált lidarok pontossága az előbbieken leírt elv alkalmazási módjától függ. Az LGSVL szimulátor natívan tartalmaz egy általános, szabadon paramétereztető lidar modellt, valamint egy speciális, Velodyne termékcsaládnak megfelelő lidar csoportot. A Velodyne lidartípus esetében minden lézersugár a valós lidar sugarainak megfelelően került paraméterezésre. Ez azt eredményezi, hogy ezen lidarok sugarainak irányszöge és emelkedési szöge megfelel a valós szenzor paramétereinek. Az általános lidartípus esetében ezen paraméterek közelítettek.

További említendő különbség az általános és a Velodyne típusú lidar modell között, hogy a Velodyne típusú lidar UDP protokoll által továbbít adatcsomagokat a Velodyne szenzor meghajtó szoftvere számára. A kész, kimenő adatot a Velodyne meghajtó szoftver szolgáltatja, ahogy a valós szenzor esetében is [2].

Az előbbieken bemutatott emulált lidar érzékelőről kijelenthető, hogy működési elvéből és az alkalmazott adatkezelési módból adódóan a valós szenzorhoz nagyon hasonló, realisztikus kimenetet biztosít. Az LGSVL szimulátorban alkalmazott radar érzékelők esetében ez kevésbé valósul meg. Az emulált szenzor működési elve egyszerűsített, a valós radar érzékelő látómezejének megfelelően vizsgálja az előtte lévő teret. A kijelölt területen belül található objektumokat szimuláción belüli osztályozásuk alapján detektálja, és ezen eredmény jelenik meg az emulált szenzor kimenetén is. Ez az elv azt eredményezi, hogy a szenzor csak az előre osztályozott (jármű, gyalogos stb.) objektumokat érzékeli, a célobjektumokhoz hasonló környezetelemek biztosan nem okoznak téves méréseket, a nem osztályozott objektumok mérése nem valósul meg.

3.2. Fizikai motor megbízhatósága

A fizikai motor olyan számítógépes szoftver, amely közelítő szimulációt biztosít adott fizikai rendszerek, jelen esetben szilárdtest-dinamikai rendszerek viselkedésére. Számos mérnöki és 3D játékipari megoldás alkalmaz hasonló, vagy azonos fizikai motorokat, alkalmazásuk mindkét esetben elsősorban valósídejű. Mivel az LGSVL szimulátor a Unity játékmotorra épül, fizikai motor esetében is a Unity megoldását használja. Az alkalmazott járműdinamika Unity PhysX fizikai motor alapú, szerkesztésére és paraméterezésére több lehetőség adott [3]:

- Egyszerű modellinterfész – C# alapú megoldás
- Teljes modellinterfész – FMI 2.0 (Functional Mock-up Interface) megoldást támogató megoldás

A két említett rendszer abban tér el, hogy előbbi a Unity Editor kezelőfelülete révén ad lehetőséget a járműdinamika paramétereinek meghatározására, utóbbi XML (Extensible Markup Language) formátumú modell-leíró fájlok fogadására is alkalmas.

A Unity PhysX alkalmazásával megvalósított járműdinamika modul a jármű kerekeinek ütközési modelljére alapoz. Ezen ütközési modellekhez képest történik a járműre ható dinamikai jellemzők számítása, figyelembe véve a megadott jellemző paramétereket, valamint a különböző bemeneteket, hatásokat, amik a modellezett járművet érik.

4. Következtetések

Jelen cikk célja a Járműipari Kutatóközpont által alkalmazott LGSVL szimulációs környezetben készített számítógépes szimulációk alkalmazási kockázatainak feltárása volt. Az LGSVL szimulátor egyes komponenseinek, mint az emulált szenzoroknak és a fizikai motornak

vizsgálata során kimutatható, hogy a szimulátor nagy mértékben alkalmazható önvezető járművekkel kapcsolatos szoftverfejlesztések tesztelésére. Ezen szimulációk egyes esetekben mutathatnak valóságnak nem megfelelő viselkedést. A szimulált scenáriók, vizsgált jellemzőknek megfelelően minden szimulációval megoldott feladat előtt külön szükséges a kockázati tényezők alkalmazáspecifikus vizsgálata a félrevezető eredmények elkerülése érdekében. A vizsgált jellemzők függvényében célszerű egy adott scenárióhoz több szimulációt is készíteni a feladat igényeinek megfelelő specifikációkkal.

5. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] G. Rong et al., „LGSVL Simulator: A High Fidelity Simulator for Autonomous Driving,” in *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2020..
- [2] LG Electronics Inc., „Lidar Sensor Plugin,” 2020.. [Online]. Available: <https://www.svl simulator.com/docs/archive/2020.06/lidar-plugin/>. [Hozzáférés dátuma: 23. 04. 2021.].
- [3] LG Electronics Inc., „EGO Vehicle Dynamics,” 2020. [Online]. Available: <https://www.svl simulator.com/docs/archive/2020.06/ego-vehicle-dynamics/>. [Hozzáférés dátuma: 3. 05. 2021.].

Útválasztó algoritmusok hatékonysági vizsgálata a kapszula hálózatok területén

Investigation on the efficiency of routing algorithms in the field of capsule networks

Hollósi János^a, Ballagi Áron^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Informatika Tanszék
hollosi.janos@ga.sze.hu

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

Absztrakt: A gépi látás területén a konvolúciós neurális hálózatok az egyik leghatékonyabb eszköztárként bizonyulnak a különféle felismerési, osztályozási és szegmentálási feladatok során. A neurális hálózatok egyre nagyobb térhódításnak örvendenek, így olyan területeken is érezhetően magas a neurális hálózatok jelenléte, ahol különösen fontos az alkalmazott rendszer magas megbízhatósági foka. Jellemzően ide sorolhatók 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 bizonyosságot nyert, hogy a konvolúciós neurális hálózatok megtéveszthetők, ami olyan biztonságkritikus rendszerek esetén, mint az önvezető járművek, nem megengedhető. Részben ennek a problémának a kiküszöbölésére vezették be az úgynevezett kapszula hálózatok elméletét, ahol az információ alapegysége skalár helyett vektor formájában értelmezett. Ilyen módon a tárolt információ sokkal részletgazdagabb. Munkánk során a kapszula hálózatok elméletével foglalkozunk, azon belül is a hálózati rétegek közötti kapcsolat kialakításáért felelős úgynevezett útválasztási algoritmus hatékonysági vizsgálata kerül a középpontba, ahol különféle algoritmusok hatékonyságát hasonlítjuk össze.

Kulcsszavak: Neurális hálózatok, kapszula hálózatok, útválasztási algoritmus

Abstract: 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 becoming more and more widespread, so the presence of neural networks is noticeably high even in areas where a high degree of reliability of the applied system is especially important. Typically, this includes implementations related to self-driving vehicles, where, for example, reliability is of paramount importance in the detection of the environment and in the decision-making process, as the system is highly safety-critical. In recent years, it has become clear that convolutional neural networks are misleading, which is not acceptable for safety-critical systems such as self-driving vehicles. In part, to eliminate this problem, the theory of so-called capsule networks was introduced, where the basic unit of information is interpreted in the form of a vector instead of a scalar. In this way, the stored information is much more detailed. In this work, we deal with the theory of capsule networks, including the study of the efficiency of the routing algorithm responsible for establishing the connection between network layers, where we compare the efficiency of different algorithms.

Keywords: Neural networks, capsule networks, routing algorithm

1. Bevezetés

A Konvolúciós neurális hálózatok egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek a különféle vizuális adatok feldolgozása során, úgymint detektálási, osztályozási vagy szegmentálási feladatok esetén. Ugyanakkor több kutatás bizonyítja [1-3], hogy a mesterséges neurális hálózatok bizonyos szélsőséges körülmények között megtéveszthetők, becsaphatók. Ilyen megtévesztés lehet például egy megfelelő geometriai transzformáció, vagy egy jól kialakított zaj hozzáadása a bemeneti képhez. Ezeknek hatására a neurális hálózatok pontossága nagymértékben lecsökkenhet. Mivel a neurális hálózatok olyan területeken is megjelentek, mint az önvezető járművek fejlesztése, ezért különösen fontos, hogy az alkalmazott hálózat minél magasabb megbízhatósági fokot képviseljen. Az ilyen és ehhez hasonló problémák jelenléte miatt vezette be Geoffrey Hinton és kutatócsapata az úgynevezett kapszula hálózatok elméletét. A kapszula hálózatok esetén az információ alapegysége skalár helyett vektor. Így az információt sokkal szofisztikáltabb módon képesek kezelni és értelmezni. A kutatásunk során a kapszula hálózatok elméletével foglalkoztunk és megvizsgáltuk az úgynevezett útválasztási algoritmust, ami egy fontos összetevője a kapszula hálózatoknak. Munkánk során ajánlást tettünk útválasztási algoritmusok létrehozására, illetve a javaslatunkat összevetettük a kapszula hálózatok elméletének kidolgozóival által ajánlott megoldással.

2. Kapszula hálózat

A kapszula hálózatok [4, 5] 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

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

ahol \mathbf{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 számítási egy iteratív módon működő algoritmus segítségével történik. Ez az úgynevezett dinamikus útválasztás. Ennek részletezése és a felhasznált útválasztási algoritmusok a 3. fejezetben kerülnek részletezésre

3. Útválasztási algoritmusok

Az útválasztási algoritmus célja, hogy a magasabb szintű és az alacsonyabb szintű kapszulák közötti információ közvetítés fő irányát meghatározza. Tanulmányunkban három útválasztási algoritmust vizsgálunk meg. Az első Sabour és társai által publikált megvalósítás. Ez az algoritmus a kapszula hálózatok elméletének kidolgozóitól származik. Ez tekinthető az első megvalósítási javaslatnak a kapszula hálózatok területén belül. Ezt az elgondolást hasonlítjuk össze kettő, általunk javasolt megoldási módszerrel. A három megvalósítást szemlélteti a 1. táblázat.

1. táblázat – Alkalmazott útválasztási algoritmusok

| <i>Sabour és társai[4]</i> | <i>1. saját megvalósítás</i> | <i>2. saját megvalósítás</i> |
|---|--|--|
| $\forall i, j \ b_{ij} = 0$ <i>r</i> iteráción keresztül: $\forall i \ c_i = \frac{e^{b_i}}{\sum_j e^{b_j}}$ $\forall j \ s_j = \sum_i c_{ij} \hat{u}_{j i}$ $\forall j \ v_j = \frac{\ s\ ^2}{1 + \ s\ ^2} \frac{s}{\ s\ }$ $\forall i, j \ b_{ij} = b_{ij} + \hat{u}_{j i} v_j$ ki: v_j | $l = 1 \ \mathbf{V} = 0$ <i>n</i> iteráción keresztül: $\forall i, j \ B_{ij}^l = [0_1, 0_2, 0_3, \dots, 1_l, \dots, 0_{n-2}, 0_{n-1}, 0_n]$ <i>r</i> iteráción keresztül: $\forall i \ c_i = \frac{e^{b_i}}{\sum_j e^{b_j}}$ $\forall j \ s_j = \sum_i c_{ij} \hat{u}_{j i}$ $\forall j \ v_j = \frac{\ s\ ^2}{1 + \ s\ ^2} \frac{s}{\ s\ }$ $\forall i, j \ b_{ij} = b_{ij} + \hat{u}_{j i} v_j$ $\mathbf{V} = \mathbf{V} + s$ $l = l + 1$ ki: $\frac{\ \mathbf{V}\ ^2}{1 + \ \mathbf{V}\ ^2} \frac{\mathbf{V}}{\ \mathbf{V}\ }$ | $l = 1 \ \forall i, j \ b_{ij} = 0$ <i>r</i> iteráción keresztül: $\forall i \ c_i = \begin{cases} b, & l = 1 \\ \frac{e^{b_i}}{\sum_j e^{b_j}}, & l \neq 1 \end{cases}$ $\forall j \ s_j = \sum_i c_{ij} \hat{u}_{j i}$ $\forall j \ v_j = \frac{\ s\ ^2}{1 + \ s\ ^2} \frac{s}{\ s\ }$ $\forall i, j \ b_{ij} = b_{ij} + \hat{u}_{j i} v_j$ $l = l + 1$ ki: v_j |

Az 1. saját módszer esetén az iterációk száma függ az n darab osztály számtól is. Minden osztály esetén egyedi b vektor jön létre, ahol a kezdeti érték nem minden esetben 0, mint Sabour és társai megoldása esetén. Hanem az adott osztályhoz tartozó érték 1 valószínűségről indul. A 2. megoldás esetén arra koncentráltunk, hogy a c vektor kezdeti értéke hogyan alakul. Ennél a megoldásnál az első iteráció során a c vektor a b vektor értékét veszi fel.

4. Alkalmazott hálózat és adatkészletek

A megvalósításhoz egy egyszerű felépítésű hálózati architektúra került felhasználásra. A tanítás során minden adatkészlet és minden útválasztási algoritmus esetén ugyanaz a hálózati felépítést alkalmaztuk. A létrehozott neurális hálózati architektúra felépítését a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat – Alkalmazott hálózati felépítés

| <i>Réteg neve</i> | <i>Kimenet mérete</i> | <i>Paraméterek száma</i> | <i>Kapcsolt réteg</i> |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Input_1 | (?, 28, 28, 1) | 0 | - |
| Conv2D_1 | (?, 20, 20, 256) | 20992 | Input_1 |
| Conv2D_2 | (?, 6, 6, 256) | 5308672 | Conv2D_1 |
| Reshape | (?, 1152, 8) | 0 | Conv2D_2 |
| Lambda_1 | (?, 1152, 8) | 0 | Reshape |
| DigitCaps | (?, 10, 16) | 1474560 | Lambda_1 |
| Input_2 | (?, 10) | 0 | - |
| Lambda_2 | (?, 160) | 0 | DigitCaps, Input_2 |
| Lambda_3 | (?, 10) | 0 | DigitCaps |
| Model | (?, 28, 28, 1) | 1411344 | Lambda_2 |

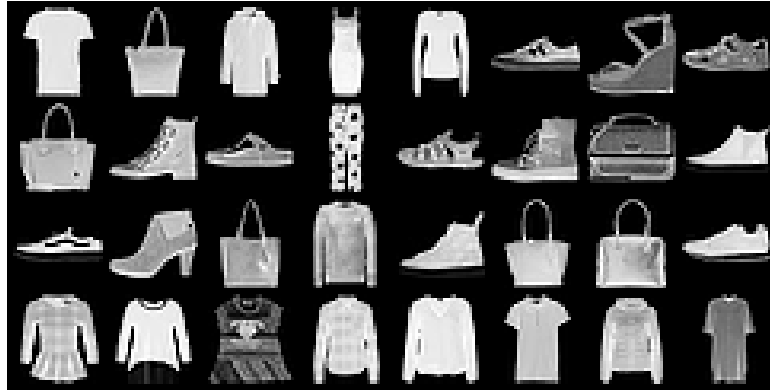
Az implementált hálózatok teszteléséhez két elterjedt adatkészlet került felhasználásra, az MNIST és az F-MNIST. Az MNIST [6] adatkészlet kézzel írott számjegyeket tartalmaz. A számjegyek 0-tól 9-ig terjednek. Összesen 70.000 képet tartalmaz, melyből 60.000 a tanítókészlet, míg 10.000 a tesztkészlet részét képezi. A képek egyenként 28 képpont magasak és 28 képpont szélesek. A képek monokrómak, azaz csak egy, szürkeárnyalati színintenzitás csatornát tartalmaznak. Az 1. ábra az MNIST adatkészletből szemléltet néhány mintát.



1. ábra – Mintaképek az MNIST adatkészletből

Az F-MNIST [7] adatkészlet az MNIST mintájára született meg. Az adatkészlet különféle ruhaneműkről tartalmaz képeket, az MNIST-hez hasonlóan szintén 60.000 tanítómintát és 10.000 tesztmintát tartalmaz, melyek mérete 28 képpont magas és 28 képpont széles. A

ruhaneműk a következő 10 osztályokba sorolhatók: póló, nadrág, pulóver, ruha, kabát, szandál, ing, cipő, táska, csizma. Az F-MNIST adatkészletből mutat néhány mintát a 2. ábra.



2. ábra – Mintaképek az F-MNIST adatkészletből

Tehát mindkét adatkészlet esetén a bemeneti oldalon egy 28×28 képpont méretű mátrixot vár a neurális hálózat, és mindkét adatkészlet esetén egy 10 elemű vektor a kimenet, ahol a vektor i -edik eleme megadja az adott adatkészlet tekintetében az i -edik osztályhoz tartozás valószínűségét. A kimeneti vektor alapján a bemeneti képet ahhoz az osztályhoz tartozónak tekintjük, amely osztály esetén a legmagasabb lett a valószínűségi érték.

5. Eredmények

A kialakított hálózati architektúrát a három ismertett út választási algoritmus felhasználásával tanítottuk az MNIST és F-MNIST adatkészleteken külön-külön. A tanítás során a hálózatok hatékonyságát és veszteségét figyeltük.

Legyen y_t a bemeneti mintákhoz tartozó valós kimeneti címkék, és legyen y_p a bemeneti mintákhoz a neurális hálózat által számított kimeneti címkék. Ez alapján legyen

$$c(y_p^i) = \begin{cases} 1, & y_p^i = y_t^i \\ 0, & y_p^i \neq y_t^i \end{cases} \quad (5)$$

ahol $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ és n a bemeneti minták darabszáma. Ezek alapján a hatékonyság legyen

$$acc = \frac{\sum_{i=1}^n c(y_p^i)}{n} \quad (6)$$

ahol $acc \in [0; 1]$.

Legyen

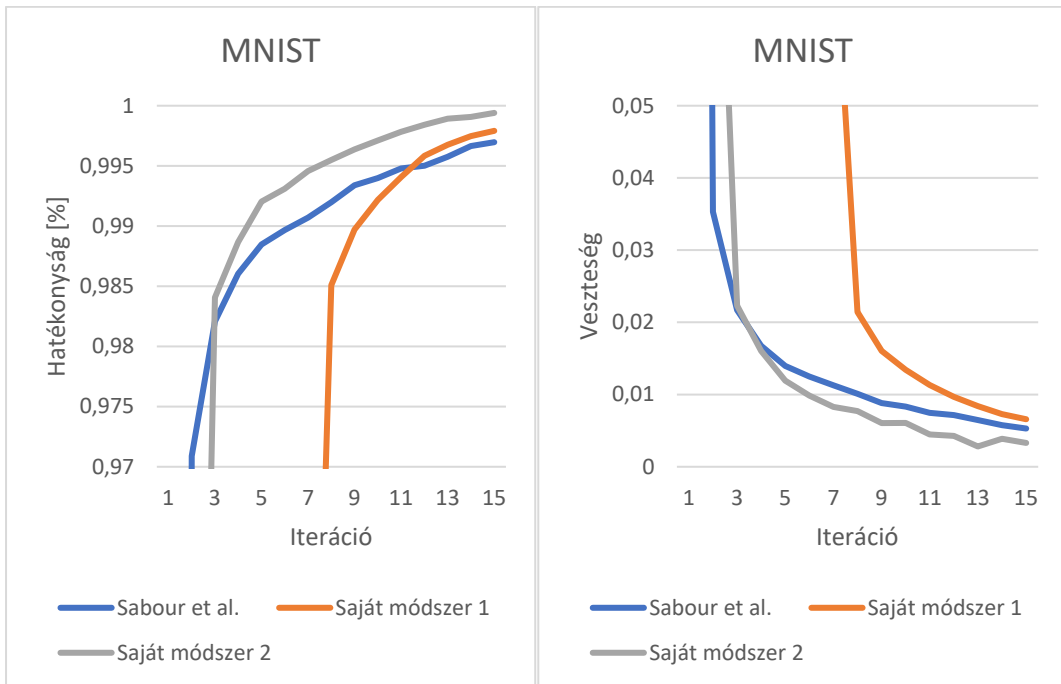
$$L = y_t \times \max(0; 0,9 - y_p)^2 + 0,5 \times (1 - y_t) \times \max(0; y_p - 0,1)^2 \quad (7)$$

ami alapján a veszteség

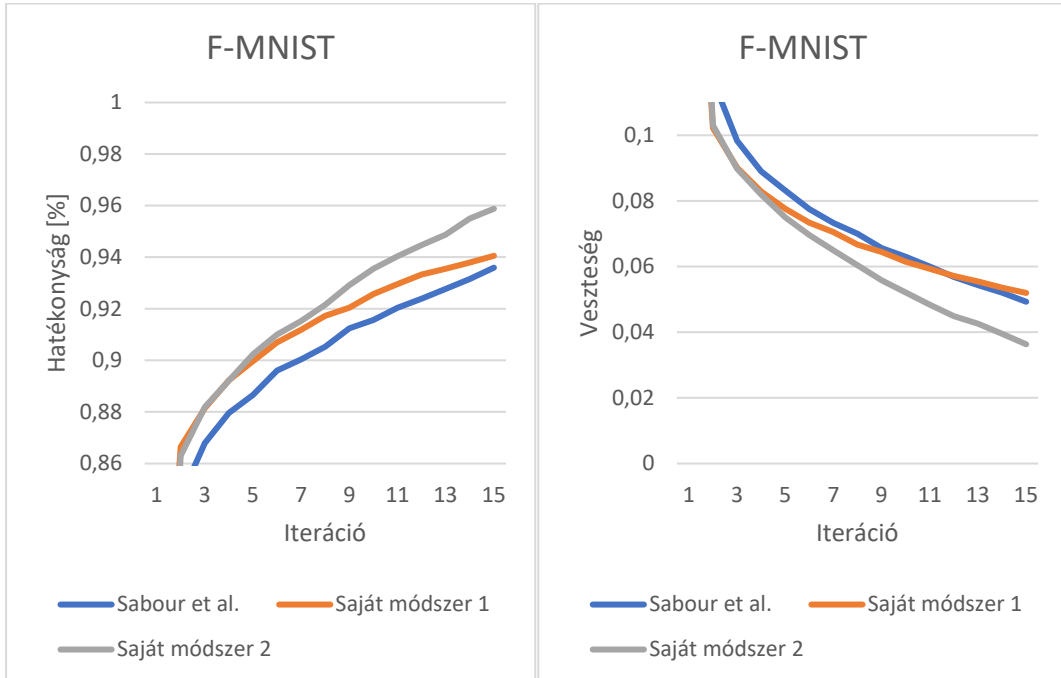
$$loss = avg(L + 1) \quad (8)$$

ahol avg a bemeneti vektor átlaga.

Mindezek alapján az eredményeket a 3. és a 4. ábrák foglalják össze a két adatkészlet, valamint a három őtválasztási algoritmus esetén.



3. ábra – Hálózatok hatékonysága és vesztesége az MNIST adatkészlet esetén



4. ábra – Hálózatok hatékonysága és vesztesége az F-MNIST adatkészlet esetén

Látható, hogy mindkét eltérő adatkészlet esetén Sabour és társai megoldása nyújtotta a legkevésbé hatékony megoldást, hiszen 15 iteráció után ennek a megoldásnak volt a

legalacsonyabb a hatékonysági értéke. Mindkét adatkészlet esetén a 2. saját megoldásunk biztosította a legjobb hatékonyságot, így a jövőben célszerű erre a megoldásra fókuszálni.

6. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] Ian J. Goodfellow, Jonathon Shlens, Christian Szegedy: Explaining and Harnessing Adversarial Examples, International Conference on Learning Representations, 2015. május 7-9, San Diego, CA.
- [2] Alexey Kurakin, Ian J. Goodfellow, Samy Bengio: Adversarial Examples in the Physical World, International Conference on Learning Representations, 2017. április 23-26, Toulon.
- [3] Kevin Eykholt, Ivan Evtimov, Earlene Fernandes, Bo Li, Amir Rahmati, Chaowei Xiao, Atul Prakash, Tadayoshi Kohno, Dawn Song: Robust Physical-World Attacks on Deep Learning Visual Classification, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018. június 18-22, Salt Lake City, Utah.
- [4] Sabour, S., Frosst N., Hinton, G. E.: Dynamic routing between capsules. Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- [5] Hinton, G. E., Sabour S., Frosst, N.: Matrix capsules with em routing. 6th International Conference on Learning Representations, Vancouver, BC, Canada, április 30 - május 3, 2018.
- [6] LeCun Yann, Cortes Corinna: MNIST handwritten digit database, 2010. (<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>)
- [7] Han Xiao, Kashif Rasul, Roland Vollgraf: Fashion-MNIST: a Novel Image Dataset for Benchmarking Machine Learning Algorithms, arXiv:1708.07747.

Járműipari alkalmazású HMI vizsgálati mérőrendszer tervezése

Automotive purpose HMI measurement system design

Nagy Viktor^a, Kovács Gábor^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék
nviktor@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Bűnügyi Tudományok Tanszék
gkovacs@sze.hu

Absztrakt: Az autonóm funkciókkal, vezetéstámogató rendszerekkel felszerelt járművek fedélzeti ember-gép kommunikációs, azaz a Human-Machine Interface (HMI) eszközrendszere folyamatosan fejlődik. A járművezető és jármű közötti kooperáció koncepcionálisan változik, hiszen egyre több funkciót és kezelőszervet, illetve információt kell kezelnie ennek a rendszernek. A vezető kognitív terhelésének mérésére, elemzésére egy komplex tesztkörnyezetet kell terveznünk. A cikkben egy HMI vizsgálati mérőrendszer felépítését mutatjuk be, mely a Robot Operating System (ROS) környezetben járműadatok (dinamikai és környezeti adatok) és fiziológia szenzoradatok gyűjtését, és szinkronizálását végzi. A mérőrendszer moduláris felépítése lehetővé teszi az egyszerű- néhány szenzoradat alapján -, és összetett vizsgálatok elvégzését, illetve szimulátorban történő mérésekre is alkalmazható.

Kulcsszavak: mérőrendszer, ember-gép kommunikáció, ROS, vezető viselkedése

Abstract: The on-board human-machine communication system – known as Human-Machine Interface (HMI) – of vehicles equipped with autonomous functions and driving assistance systems is constantly evolving. Driver-vehicle cooperation is changing conceptually, as more functions, interfaces and information need to be managed by this system. A complex test environment need to be designed for measuring and analyzing the cognitive load of the driver. In this article, we present the structure of an HMI test measurement system that collects and synchronizes vehicle data (dynamic and environmental data) and physiology sensor data in Robot Operating System (ROS) software environment. The modular design of the measuring system allows simple – based on few sensor data – and complex tests, and capable for measurements in simulator.

Keywords: measurement system, HMI, ROS, driver behaviour

1. Bevezetés

Az ember-gép kapcsolat a közlekedési rendszerekben egy speciális és összetett alrendszer, mely a komplex ember-gép-(út)pálya rendszerkapcsolat része. Az ember és gép, azaz a jármű és (jármű)vezető közötti kommunikáció jelenleg kulcseleme a funkcionális közlekedésnek. Ugyanakkor látnunk kell, hogy az egyéni közlekedés formája, technológiai megoldásai és az egyes közlekedési rendszerelemek szerepe változik, átalakul. A vezetéstámogató rendszerek (Advanced Driver-Assistance Systems – ADAS), az aktív útpálya elemek (Roadside Unit – RSU) és a V2X rendszerek – melyek a járművek járművekkel, RSU-okkal és egyéb támogató információs elemekkel történő aktív kommunikációját valósítják meg – fokozatosan bevezetésre kerülnek. A cél a biztonságosabb vagy balesetmentes közlekedés, amelynek

jelenleg látható megvalósítási megoldása az autonóm, azaz teljesen önvezető járművek bevezetése – a következő évtizedekben. Ez természetesen a technológiai, forgalomszervezési, és infrastrukturális kutatások és fejlesztések mellett jogi kérdéseket is felvet. Például azt, hogy az önvezető vagy részben autonóm jármű által okozott baleset esetén ki a felelős? [1]

A járművek ilyen mértékű átalakulása a multimodális fedélzeti kommunikációs rendszer, és a kezelőszervek fejlesztését igénylik. Ahogy a közlekedési rendszer teljes átgondolása, akár újra strukturálása is felmerülhet, úgy a jármű HMI-nek is követnie kell a változást. A jelenleg alkalmazott érintőképernyők alkalmasak a fokozott funkció és információ mennyiség kezelésére. Ugyanakkor fel kell tennünk a kérdést: mire képes az ember? Amíg a vezető csak részben adja át az irányítást a járműnek, tehát vezetéstámogató rendszereket aktivál, addig minden időpillanatban készen kell állnia az irányításra [2]. Igaz ez a SAE által kialakított automatizáltság fokok [3] szerinti 0-1-2-3 szinten. [4] A negyedik szinten új szemléletű tájékoztatást kell megvalósítani, míg az ötödik szinten valósul meg a teljes önvezetés.

2. A mérések célja

A tervezett mérőrendszer a jármű és a benne ülő, azzal aktív kooperációban lévő embert, a járművezetőt vizsgálja a következő közlekedési szituációkban:

- Járművezető viselkedésének vizsgálata ADAS működése mellett (SAE 0-3 szint).
- Járművezető viselkedésének vizsgálata autonóm járműben (SAE 4-5 szint).
- Jármű információs rendszer (In Vehicle Information System – IVIS) kognitív terheléses vizsgálata.
- Járművezető viselkedésének, reakciójának vizsgálata a vezetéssel nem összefüggő feladatok (Non-Driving-Related Tasks – NDRT) hatásai mellett.
- A jármű-ember kooperáció vizsgálata a kezelőfelület (User Interface – UI) kialakítása és a felhasználói élmény (User eXperience – UX) függvényében.

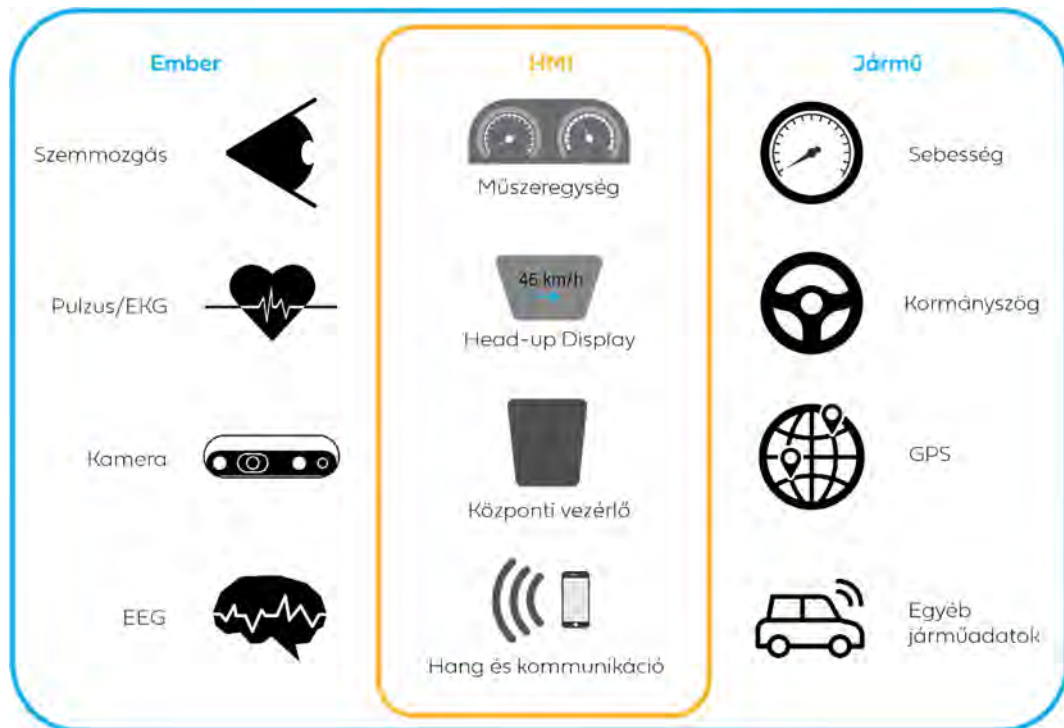
A mérési eredmények az alábbi fogalmak kutatásaiban is felhasználhatók:

- Bizalom – megbízhatóság és elfogadás
- Transzparencia – átlátható rendszer működés
- Kommunikáció – hangvezérlés, audiovizuális visszacsatolás, gesztusvezérlés lehetőségei
- Antropomorfizmus – a számítógép „emberiesítése”

3. A mérőrendszer felépítése

Amennyiben komplex teszt rendszer felépítését tűzzük ki célul, a lehető legszélesebb körű adatgyűjtést kell elvégeznünk. Az igényelt összetett mérőrendszer megalkotásához tudni kell, hogy mit, miért, mivel, és hogyan mérünk. A teszt környezet felépítése a mérési pontok, szenzorok alapján, illetve az gyűjteni kívánt adatok ismeretében történhet meg.

A jármű-járművezető információs rendszer három elemét alrendszerekként, megfelelő szenzor és adatgyűjtő egységekkel támogatva mérjük (1. ábra).



1. ábra A mérőrendszer elvi felépítése adattípusok szerint

A mérés során a következő alrendszereket határoztuk meg:

- Ember – járművezető
- HMI – kezelőfelület
- Jármű – közúti személygépjármű

Az alrendszerek meghatározása során az egyes elemek csoportosítását a moduláris információ-kezelés és szenzorrendszer felépítése indokolta. Az „emberi tényező” vizsgálatához hordozható fiziológiai és külső kamera szenzorokra van szükség. A „HMI” biztosítja a kommunikációs felületet, kétirányú információ közvetítésre szolgál. A „jármű” adatok az adott vizsgálati környezettől függően fedélzeti rendszerből vagy szimulációs környezet által generáltak nyerhetők ki.

Az adatokat három fő csoportba osztva kategorizáltuk:

- Fiziológiai adatok
- Járműadatok
- Stimulusok (ingerek)

A fiziológiai adatok a járművezető, azaz a tesztalany viselkedésének, reakciójának vizsgálatát teszik lehetővé. Erre alkalmas szenzorok a szemmozgás detektáló (eye-tracker), amely képes rögzíteni, a tesztalany tekintetváltását, annak fókuszát, és a pupilla átmérőjének változását. Az elektroencefalogram (EEG) a hajás fejbőrre elhelyezett elektródák segítségével az agyhullámok megfigyelését, ezzel a tesztalany tudatállapotának elemzését teszi lehetővé, amellyel lelki, izgalmi állapotára, koncentrációs képességére, annak fókuszára tudunk következtetni. Az elektrokardiogram (EKG) vagy pulzusszám figyelés izgalmi állapotot, közérzetre vonatkozó információkat tud szolgáltatni, míg a véroxigénszint mérésével a szervezet aktuális oxigén ellátottságát tudjuk meg. Az egyik kulcseleme a mérőrendszernek a kamerával történő megfigyelés, kiegészítve mozgás-detektálással. A kamerás megfigyelés az utólagos kiértékelés során közlekedés pszichológus szakember számára önmagában rengeteg információval szolgál, illetve a mozgások felismerése, és a „szkeleton” illesztés összetett kvantitatív elemzésekre ad lehetőséget. További lehetőség a tesztalany arcának megfigyelése, a mimika és fejmozgás elemzése.

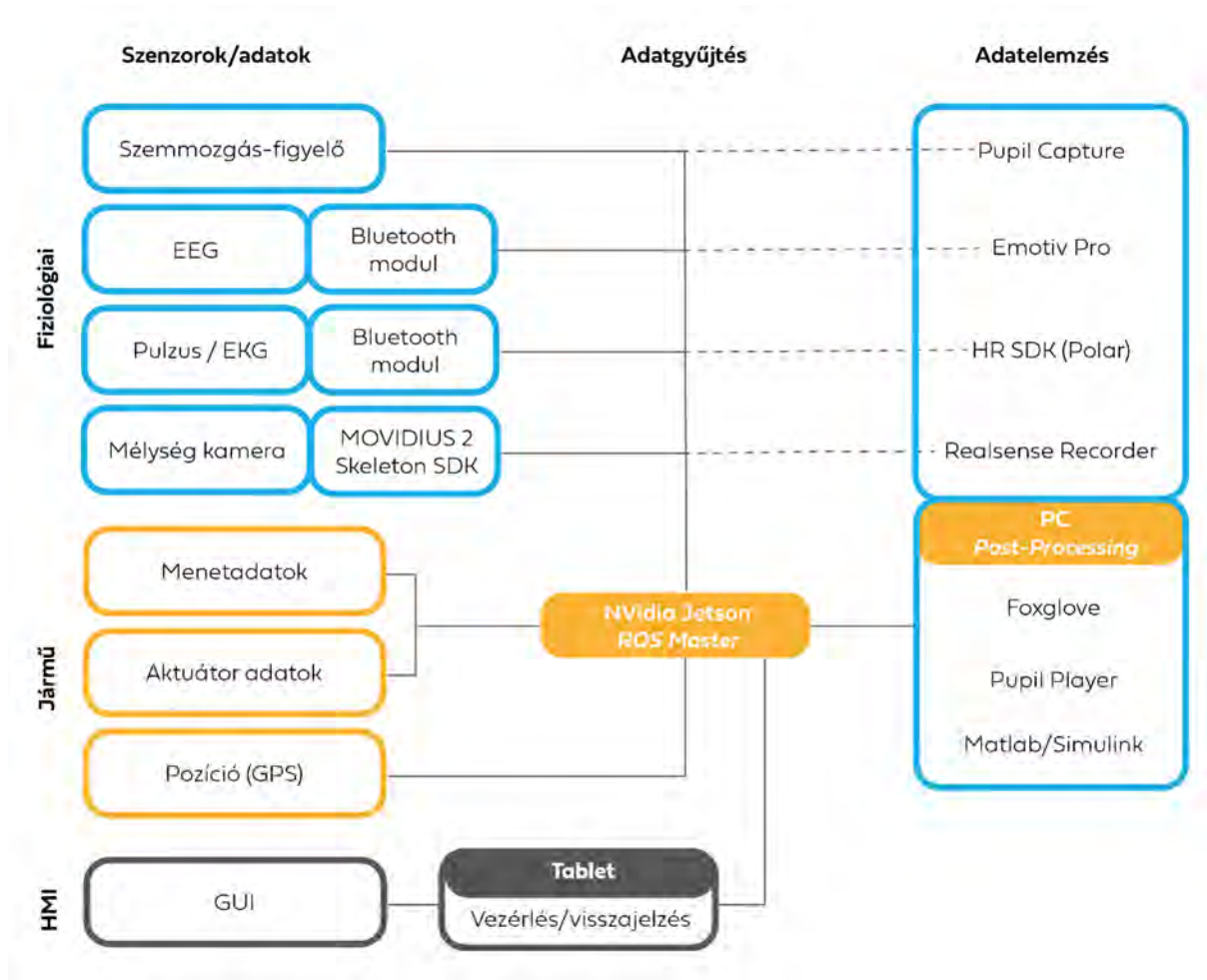
A járműadatok a jármű állapotára, a beavatkozók (kezelőszervek) pozíciójára, és jelzőberendezések üzemiállapotára vonatkozó információk. A jellemző járműadatok, melyek a mérőrendszer szempontjából relevánsak a következők: kormányszög, sebesség, gyorsulás (fedélzeti érzékelő adat), gáz- és fékpedál állás, segédberendezések (üzemiállapot), vészjelzések, kezelőszervek (üzemiállapot), hely adatok (GPS koordináták). Utóbbi adatok a jármű környezet detektálása, pozicionálása során szerzett információk.

A stimulusok (ingerek) a HMI kommunikációs csatornáinak, tehát a kezelőfelületek és kijelzők (UI) megjelenített adatai. Ide tartoznak az alapvető jármű paraméterek: sebesség, üzemanyag vagy akkumulátor töltöttségi szint, vízhőfok, egyéb műszaki paraméterek, vészjelzők. A jármű paraméterek megjelenítése történhet hagyományos műszercsoporton, kijelzőn, vagy a szélvédőre vetítve (Head-up Display – HUD). Illetve az információs hierarchia szerinte differenciálva. A vezetéstámogató rendszer információi: tábla információ, követési távolság, sávtartás, holttér figyelő stb. Az ADAS információk a vezető elsődleges látóterében lévő műszeregységre és HUD-ra kerülnek megjelenítésre, míg a vezetéstámogató rendszerek kezelőszervei a központi vezérlő felületen. A kényelmi információk: klimatizálás, navigáció, kommunikációs és szórakoztató elektronika stb. A kényelmi információk megjelenítése elsősorban, a kezelése kizárólag a központi vezérlő felületen történik.

4. Adatfeldolgozás

Az előbbieken felsorolt adatok gyűjtését ROS alapú rendszerben végezzük. A ROS egy nyílt forráskódú, rugalmasan fejleszhető (moduláris) keretrendszer, mely heterogén hardver elemek összekapcsolását, kommunikációját teszi lehetővé. A hálózatba szervezett hardverelemek (szenzorok, aktuátorok, feldolgozó egységek) működése egymástól független, viszont a megfelelő driverek segítségével minden rendszerelemtől azonos formátumba tömörített ROS bag adatcsomagok formájában történik az információ-csere. Az ROS központi adatgyűjtő egység (ROS Master) a beérkező adatcsomagok feldolgozására alkalmas, illetve kész feldolgozási megoldásokat tud kínálni (például képfeldolgozás). Hasonló koncepció mentén, ROS alapokra épített mérőrendszerrel ember-robot együttműködésre vonatkozó vizsgálatokat végzett Wonse Jo et al. [5]. A jármű adatok egy kísérleti jármű ROS

kompatibilis rendszerelemiből érkeznek (valós vagy szimulációs környezetben), mely Pablo M. et al. intelligens jármű architektúrájával megegyező rendszerben készült el [6]. Az aktív stimulusk megvalósítására grafikai felületek (Graphical User Interface – GUI) tervezése és programozása szükséges. Az adatgyűjtésre nagy számítható kapacitású, de kis energiaigényű és méretű NVidia Jetson fejlesztői hardvert alkalmazunk. A felvételi adathalmaz szinkronizálása az adatsomagokhoz tartozó időbélyeg miatt megoldott, utólagos visszajátzásra, kiértékelésre alkalmas – tehát nem real-time rendszerről van szó (2. ábra).



2. ábra Mérőrendszer felépítése (előzetes rendszerterv)

5. Fiziológiai szenzorok

Az emberi tényező vizsgálata, a járművezető monitorozása a mérőrendszer olyan eleme, mely az adatfelvétel során a legfontosabb, korábban rendelkezésre nem álló adatokkal tudja támogatni a vizsgálati célunkat.

A mérőrendszer a tesztalany (járművezető) fiziológiai paramétereit négy alapvető szenzor segítségével tudja rögzíteni (3. ábra):

- Szemmozgás figyelő (eye-tracker)
- Pulzusmérő
- Kamera
- EEG



Pupil Labs Core



Polar H7



Intel RealSense



Emotiv EPOC

3. ábra Választott fiziológia szenzorok (kép: termékgyártó)

Az emberi figyelem vizsgálatához a szemmozgás detektálása az egyik alapvető szenzoros adatfelvételi megoldás. A szemmozgásokat szakkádokra és fixációkra tudjuk bontani. A szakkádok nagyon gyors, ugrásszerű szemmozgások, melyek során információ feldolgozás nem történik. A fixáció során a szem mozgása megáll, ekkor történik az információfeldolgozás. A mérőrendszer elemeként választott Pupil Labs Core típusú szemmozgás detektálóeszköz három kamerát használ a működéséhez: környezeti, bal- és jobboldali infravörös kamera. Kalibrációt követően az eszköz a pupilla helyzetét rögzíti, majd egy algoritmus segítségével a környezeti kamera által rögzített képpel harmonizálja, és azon megjelöli a tekintet fókuszát. A szoftveres támogatás segítségével a tekintet grafikai megjelenítése (fókuszpont mozgása és a pásztázás vonala) lehetőséget ad a vizuális elemzésre, illetve a nyers adatok a numerikus elemzésre [7].

A vezető általános közérzetére utaló információt ad a szívverés figyelése, azaz a percenkénti pulzusszám. A vezetői magatartás, valamint az izgalmi vagy nyugalmi állapot között a pulzusszám regisztrálásával kimutatható összefüggés van [8]. Továbbá Biondi et al. szerint a járművezetés önmagában és az IVIS kezelése (hangvezérléssel) kortól függően befolyásolja a nyugalmi (vezetés közbeni) pulzusszámot [9]. Ezért egy komplex ADAS támogatással végrehajtott közlekedési szituációban a pulzusszám rögzítése elengedhetetlen. A választott mérőeszköz egy Polar H7 mellkaspántba integrált, hordozható (wearable) szenzor, bluetooth 4.0 technológiával vezeték nélkül csatlakoztatható mobil eszközhöz vagy számítógéphez. Pontossága 0,98-as a Lin-féle konkordancia korrelációs együttható skáláján, összevetve a klinikai EKG berendezésekkel [10].

A vizuális megfigyelés alapvetően egy normál kamerával is megoldható, de az Intel Realsense kamera, sztereo normál és egy infravörös lencsével, valamint mélységérzékelővel ellátva HD minőségben képes háromdimenziós képrögzítésre. Az egység integrált inerciális mérőegységgel (Inercial Measurement Unit – IMU) rendelkezik és támogatja arc, mimika és testmozgás felismerést, így numerikus elemzés is végezhető vele. Könnyen integrálható az ROS rendszerbe [7].

Az EEG a hajas fejbőrre elhelyezett elektródák segítségével az alfa- (8-12 Hz), béta- (15-40 Hz), delta- (1-3 Hz), és theta-agyhullámok (4-7 Hz) detektálását teszi lehetővé. Az adathalmaz elemzésével a tesztalany tudatállapotának elemzését tudjuk megtenni. Az EEG adatfelvételre az Emotiv EPOC eszközt választottuk ki a hordozhatóság és viszonylag könnyű alkalmazhatóság miatt. A 14 aktív elektródával és két referencia elektródával rendelkezik (P3, P4). Az elektródák a következő elrendezéssel rendelkeznek: AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, T7, T8, O1, O2, P7, P8. A mintavételezés 2048 Hz-en történik, majd zajsűrést követően 128 Hz-re tömöríti a rendszer. Az adatokat vezeték nélkül továbbítja a számítógépnek [11].

6. Megvalósítási lehetőségek

A mérőrendszer tervezésekor adottságnak vettük a kísérleti járművet, melynek fedélzeti irányítását végző ROS alapú vezérlőrendszerébe integráltuk a mérőrendszer elemeit. Így lehetőség nyílt a valós közlekedési körülmények között, a ZalaZONE autonóm jármű tesztpályán [12]. További felhasználási lehetőség ugyanennek a járműnek az LGSVL szimulátor rendszerbe elkészített digitális ikerével történő integrációja. A szimulátor lehetővé teszi a rendszer beállítását, tesztelését, illetve a szimulációs és valós környezetben végzett azonos vizsgálatok összehasonlítását, további kutatások megalapozása céljából.

7. Összefoglalás

A mérőrendszer tervezésekor fő szempont volt, hogy komplex szenzor- és adatgyűjtő rendszer segítségével modulárisan felépíthető vizsgálati eszközt építsünk ki. A járművezető viselkedését normál vezetési közegben, ADAS rendszerekkel kiegészítve, az IVIS multimodális eleminek bevezetésével, NDRT hatásait bevonva, és a részben, vagy teljesen önvezető funkciók mellett is tudjuk vizsgálni. Az adatfelvételi és elemző rendszer a szemmozgást, pulzust, a vezető arc és testmozgását, valamint az agyhullámok rögzítését tudja elvégezni. A szinkronizált adathalmazt az ROS informatikai keretrendszer segítségével kerül szinkronizálásra és előkészítésre az elemzéshez. A vizsgálati rendszer adatai alapján a járművezetői viselkedési minták, kognitív funkciók exakt vizsgálata valósítható meg, mely a pszichológia elemzésekkel kiegészítve a járművezető modell kialakításának alapjait adhatja meg. Továbbá olyan közlekedésbiztonsági szempontból kritikus helyzeteket, és negatív hatású fedélzeti rendszer tulajdonságokat tárhat fel, mely a kutatási célunk fókuszpontjában áll.

8. Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] I. Ambrus, G. Kovács, I. Németh, "Az önvezető járművek kapcsán felvethető általános büntetőjogi problémák," JURA 24:2, pp. 13-31., 19 p, 2018.
- [2] K. M. Wilson, S. Yang, T. Roady, J. Kuo, and M. G. Lenné, "Driver trust & mode confusion in an on-road study of level-2 automated vehicle technology," Saf. Sci., vol. 130, no. January, p. 104845, 2020, doi: 10.1016/j.ssci.2020.104845.
- [3] SAE International, „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles”, J3016, April 2021.
- [4] G. Kovács, Á. Hőgye-Nagy, Gy. Kurucz, „Human Factor Aspects of Situation Awareness in Autonomous Cars – An Overview of Psychological Approaches” ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 18: 7 pp. 7-24, 2021 doi: 10.12700/APH.18.7.2021.7.1
- [5] W. Jo, S. S. Kannan, G. E. Cha, A. Lee, and B. C. Min, “A ROS-based Framework for Monitoring Human and Robot Conditions in a Human-Multi-robot Team,” arXiv, 2020.
- [6] Pablo M, Ahmed H, David M, and Arturo de la Escalera, „Complete ROS-based Architecture for Intelligent Vehicles,” Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 694, pp 499-510, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-70836-2_41.
- [7] David V, Michela T, Giulio M, Michela B, „Use of eye tracking device to evaluate the driver's behaviour and the infrastructures quality in relation to road safety,” Transportation Research Procedia, Vol. 45, pp 587-595, 2020, doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.053.
- [8] J. Meseguer, C. T. Calafate, J. C. Cano, „On the Correlation Between Heart Rate and Driving Style in Real Driving Scenarios,” Mobile Netw Appl, Vol. 23, pp 128–135, 2018, doi: 10.1007/s11036-017-0833-x.
- [9] F. Biondi, J. Coleman, J. M. Cooper, D. L. Strayer, „Average Heart Rate for Driver Monitoring Systems,” International Journal of Human Factors and Ergonomics 4(3/4), 2017, doi: 10.1504/IJHFE.2016.083521.
- [10] S. R. Pasadyn et al., “Accuracy of commercially available heart rate monitors in athletes: A prospective study,” Cardiovasc. Diagn. Ther., vol. 9, no. 4, pp. 379–385, 2019, doi: 10.21037/cdt.2019.06.05.
- [11] D. Sawicki, A. Wolska, P. Rosłon, and S. Ordysiński, „New EEG Measure of the Alertness Analyzed by Emotiv EPOC in a Real Working Environment,” NEUROTECHNIX 2016 - Proceedings of the 4th International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics, pp 35-42, 2018, doi: 10.5220/0006041200350042.
- [12] Z. Szalay, Z. Hamar, P. Simon, „A Multi-layer Autonomous Vehicle and Simulation Validation Ecosystem Axis: ZalaZONE,” Intelligent Autonomous Systems 15, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-01370-7_74.

Alacsony induktivitású H-hidas DC motor meghajtó fejlesztése

H-bridge DC motor controller development for low-inductance motors

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: A cikkben bemutatásra kerül egy energiahatékony elektromos járműhajtáshoz készített motorvezérlő fejlesztése. A Shell Eco-marathon a világ egyik legnagyobb energiahatékonsági versenye, mely a hallgatókat és kutatókat a hajtásoptimalizálás felé vezeti. Az elektromotorok teszteléséhez és méréséhez az adott motorhoz megfelelő motorvezérlő elektronika szükséges. A piacon kapható általános DC motorvezérlőkkel szemben, jelen cikkben egy négy csatornás impulzusszélesség modulációra előkészített motorvezérlőt mutatunk be. A négy külön álló csatorna segítségével a H-hidas motorvezérlő lehetőséget biztosít alacsony induktivitású DC motorok hajtására is. A bemutatásra kerülő motorvezérlőn GaN alapú félvezetőket alkalmazunk kapcsolóelemként, melynek köszönhetően hűtőborda nélküli kialakítást valósíthatunk meg. Ez mind a tömeg és a méret csökkenését segíti elő a célalkalmazás esetében.

Kulcsszavak: GaN, motorvezérlő, PWM, DC motor,

Abstract: This paper deals with a brief description of the development of an electric motor controller, which is designed for an energy efficient electric drivetrain. The Shell Eco-marathon is one of the best-known efficiency competition in the world, which leads students and researchers to drivetrain optimization. To test and validate electric motors we need an appropriate motor controller unit. Against general motor controllers available on the market, this article represents a four-channel pulse width modulation capable motor controller. With the help of four separated control channel, our H-bridge motor controller could possibly drive a low-inductance DC motor as well. The presented motor controller were designed with GaN based semiconductors as switching elements and thanks to that we are able to create a heatsink less design. This kind of design helps to reduce weight and size in the final application.

Keywords: GaN, motor controller, PWM, DC motor

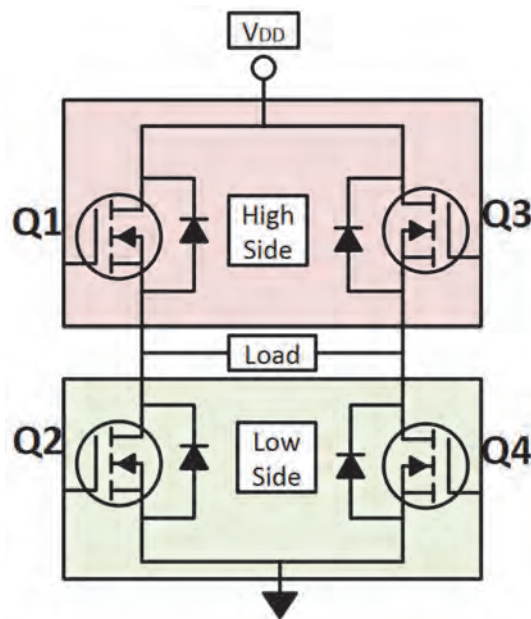
1. Bevezetés

A Széchenyi István Egyetemen működő SZEnergy Team hallgatói versenycsapat 2005 óta vesz részt a nemzetközileg is elismert Shell Eco-marathon energiahatékonsági versenyen. Az évek előre haladtával egyre bizonyosabbá vált három kulcsfontosságú pont egy sikeres versenyautó konstrukciójában. A három legmeghatározóbb részlet a hajtás rendszer, a jármű tömege és a karosszéria kialakítása. Ezeket a szerkezeti pontokat természetesen az adott pályára optimalizált hajtás stratégia nagyban kiegészíti. A versenytárs elemzések és irodalomkutatások során

felmerült egy egyenáramú kefések motor tesztelése is, melyet a svájci Maxon cég gyárt RE50-as típus szám alatt.[1][2] A motorfékpedi méréseket és az optimalizációt megelőzően viszont felmerült az igény egy nagyáramú DC motorvezérlő kifejlesztésére is, mely az egyszerű H-hidas kialakításon felül precíziós vezérlési lehetőségekkel rendelkezik.

2. Az egyenáramú motorvezérlés alapjai

Egyenáramú villamos gépek esetében a működéshez szükséges feszültséggel egyenesen arányos a fordulatszám, míg a felvett árammal a nyomaték. A motorvezérlés két fontos tulajdonsága a fokozatmentes szabályozhatóság, valamint a forgásirányváltás lehetősége. A forgásirányváltáshoz a motor kivezetett pólusaira kapcsolt feszültség polaritásának felcserélésére van szükség, míg a fokozatmentes szabályozhatóság valamilyen változtatható ellenállású feszültség osztó kapcsolást igényel, amit napjainkban már valamilyen nagy frekvenciás szaggatással valósítanak meg. Manapság mind ipari, mind hobbi célú alkalmazásokban a DC motorok vezérlése főként H-hidas elektronikai megoldásokkal valósul meg. A H-hidas kapcsolás felépítése az alábbi ábrán látható. (1. ábra)



1. ábra. H-hidas motorvezérlő kapcsolás felépítése

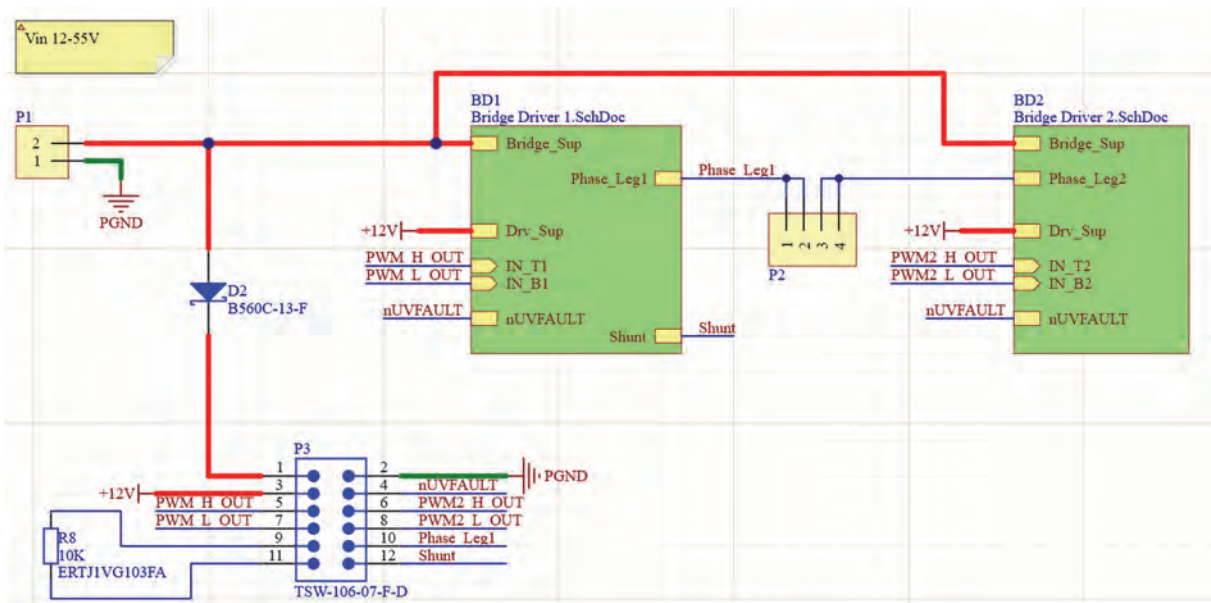
A H-hidas kapcsolás felépítését tekintve alapvetően négy kapcsoló elemből (Q1-Q2-Q3-Q4) épül fel. Ezen kapcsoló elemek biztosítják a tápfeszültség és a földpotenciál közti bármilyen kombinációjú kapcsolás lehetőségét.

A helyes működési tartományok definiálásához szükséges a kombinációk előzetes meghatározása és logikai vizsgálata. A kombinációk összefoglaló igazság táblázata az 1. táblázatban kerül bemutatásra.

| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Eredmény |
|----|----|----|----|----------------------|
| 1 | 0 | 0 | 1 | Motorforgás jobbra |
| 0 | 1 | 1 | 0 | Motorforgás balra |
| 1 | 1 | 0 | 0 | Zárlat, tiltott üzem |
| 0 | 0 | 1 | 1 | Zárlat, tiltott üzem |
| 1 | 0 | 1 | 0 | High-side fék üzem |
| 0 | 1 | 0 | 1 | Low-side fék üzem |

1. táblázat. Igazságtábla a H-hidas motorvezérlés logikájának részletéről

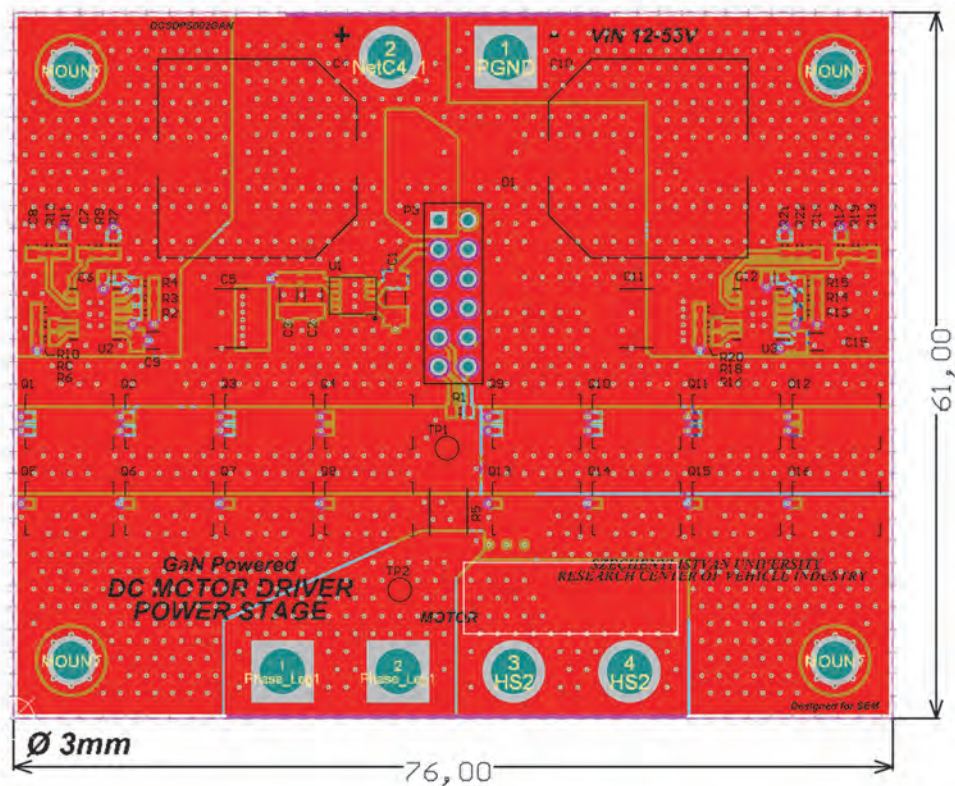
A legtöbb piacon kapható integrált áramkör már beégetve tartalmazza ezeket a logikai összefüggéseket, így védve az esetleges zárlatok és összenyitások ellen. Ezek az eszközök nagyban egyszerűsítik az irányítás alapjait és a prototipizálást, hiszen bemenetükön általában egy irány és egy PWM jelet várnak el, melyből már képesek meghatározni a kapcsoló elemek alsó szintű vezérlését. Abban az esetben mikor precíziós irányításra van szükség a négy kapcsoló elem nem csak ellenütemű, hanem egymástól eltérő, eltolt működése is szükséges lehet, mint amire az RE50-es Maxon motor esetén is szükség van. Ebben az esetben minden kapcsolóelemnek egyedi szálon, egyedi vezérlő jeleket szükséges eljuttatni. Az alábbi ábrán látható a H-hidas logikai vezérlők számára bekötött egyedi PWM jelek. (2. ábra)



2. ábra. Részlet a H-hidas kapcsolásirajzból, ahol négy külön PMW jel áll rendelkezésre.

3. Nyomtatott áramköri panel tervezése

A logikai és teljesítményelektronikai panelek tervezésekor azonos forma megvalósítása volt a cél. A panelek mérete egységesen 61 x 76 mm, így modulárisan építhetők egymásra a panelek. A kutatás következő időszakában lehetőség nyílik majd különböző logikai és teljesítményelektronikai panelek párosítására és tesztelésére is. A jelenlegi fejlesztés során a meghajtó áramkört tartalmazó teljesítményelektronikai panelen GaN alapú GS61008P típusú félvezetőket használtunk [3], míg a vezérlő panel egy a Microchip által gyártott DSPIC30F6010A típusú mikroprocesszort tartalmaz.[4] A teljesítményigények során 50 A DC áramra méreteztük a panelt. A nagy áramerhelés nagy hűtési igényeket támaszt a disszipatív teljesítményből adódóan, melyet a panel négyrétegű kialakításával ellensúlyozunk. A hőelvezetést elősegítve hűtő via-k kerültek kiosztásra a panel teljes területén, összekötve a hűtésben résztvevő rétegeket ezzel megnövelve a panel hőkapacitását.[5] Az alábbi ábra szemlélteti a hűtő via-kkal kiegészített teljesítményelektronikai paneltervet. (3. ábra)

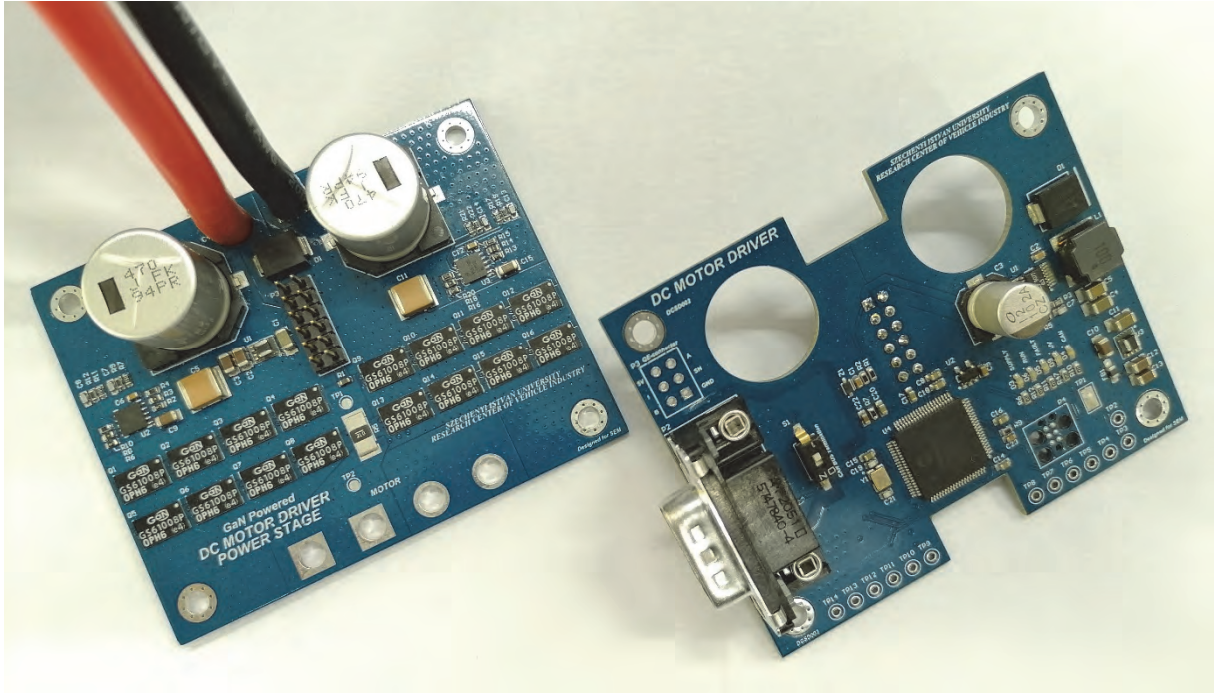


3. ábra. A teljesítmény elektronikai nyomtatott áramköri panel kétdimenziós vizualizációja

A felhasznált gallium-nitrid alapú félvezetőknek (továbbiakban GaN FET-ek) és a panel kialakításának köszönhetően, lehetőség nyílik hűtőborda nélkül összeállított motorvezérlő kialakítására, mely hozzájárul a méret, a tömeg és a disszipált energia minimalizálásához. A jelenlegi konstrukcióban a kimeneti oldalra 2400W csúcsteljesítményű motor is köthető. A panel szűk alapterületre szorítása érdekében a be- és kimeneten közvetlenül beforrasztott kábeleken keresztül folyik majd a tápellátás, valamint a motorok megtáplálása. A logikai panelen a járműipari standardoknak megfelelően, helyet kapott egy izolált CAN busz [6] kezelésére alkalmas ADM3053 típusú integrált áramkör. Ezen felül kialakítottunk egy enkóder csatlakozót is a visszacsatolások kezelésének érdekében, melyet ESD védelemmel is kiegészítettünk. A logikai panel kialakítása során több teszt pont és dedikált visszajelző dióda került elhelyezésre az egyszerű tesztelhetőséget szem előtt tartva.

A fejlesztés részét képezte a prototípusgyártás is, melynek során öt gyártási lépésen esett át a fejlesztett panel, míg a végleges formáját elnyerte (**4. ábra**):

1. 'Bill of Materials' lista összeállítása és megrendelése,
2. kézi válogatás és alkatrész beültetés,
3. forrasztás reflow kemencében,
4. furatszerelt alkatrészek kézi forrasztása,
5. ellenőrzés és javítás.



4. ábra. Megvalósított hardware panelek

4. Összefoglalás

Sikeresen megterveztünk és legyártottunk egy GaN technológiát implementáló teljesítményelektronikai panelt, mely négy egyedileg szabályozható impulzusszélesség modulált jellel H-hidas motorvezérlést valósít meg 50 A terhelésig. A GaN FET-eknek köszönhetően lehetőség nyílt kis alapterületű motorvezérlő panel fejlesztésére, mely kialakítását tekintve moduláris maradhatott, egyben nélküli a külső nagyméretű hűtőborda alkalmazását. A továbbiakban a motor szabályzáshoz szükséges mikrovezérlő programozás, a kapcsoló elemek karakterisztikájának vizsgálata, valamint fékpadi mérések szükségesek a további validációhoz.

5. Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] Maxon RE50 datasheet:
https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8881624973342/EN-21-152.pdf
- [2] Hugh Mc Sweeney: The Design of a Drivetrain for an Eco-Marathon Vehicle, *National University of Ireland*, Galway, 2016, p. 17-25
- [3] Miklós Csizmadia, Miklós Kuczmann: „*Power Semiconductor Trends in Electric Drive Systems*”, *Acta Technica Jaurinensis*, pp 00-00, vol.11., No.1, 2018,
DOI: 10.14513/actatechjaur.v11.n1.000
- [4] Microchip DSPIC30F6010A datasheet:
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70150E.pdf>
- [5] Kafadarova Nadezhda, Andonova Anna: *PCB thermal design improvement through thermal vias*, Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on circuits, systems, electronics, control & signal processing, 2009, ISBN: 978-960-474-139-7 p. 241-244
- [6] Bokor József, Gáspár Péter: *Járműfedélzeti kommunikáció*
Typotex Kiadó (2012), ISBN 978-963-279-612-3, p. 171-173.

Autonóm járművekhez fejlesztett navigációs rendszer mérési adatainak elemzése

Analysis of measurement data of a navigation system developed for autonomous vehicles

Somogyi Huba^a, Soumelidis Alexandros^b

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

^b Számítástechnikai és automatizálási kutatóintézet SZTAKI Budapest, Hungary
alexandros.soumelidis@sztaki.hu

Absztrakt: Az önvezető járműves kutatásokban a szenzorok egyre nagyobb skálája mutatkozik meg. Ez egyrészt szükség szerű, másrészt megköveteli az eddig használt szenzorkészleteink újragondolását, illetve azok rendszerbe illesztését úgy, hogy az egyre növekvő szenzorpark megfelelően együtt tudjon működni. Az eddigi kutatásaink alapján arra következtésre jutottunk, hogy létre kell hoznunk egy sajátfejlesztésű globális navigációs eszközt, amelynek minden egyes elemére teljes rálátásunk van és moduláris felépítésű. Az eszköz az említett módon történő megtervezése lehetővé teszi számunkra, hogy teljes mértékig feladatorientáltan tudjuk működtetni, illetve a többi szenzorunkkal összhangban. Az eszközből készült néhány prototípus darab és megkezdődtek a funkcionális tesztek. A cikkben ezen tesztek mérési adatai kerülnek bemutatásra.

Kulcsszavak: önvezető jármű, globális navigáció, szenzor fúzió

Abstract: Self-driving vehicle research is showing an increasing range of sensors. This is necessary on the one hand and requires a rethinking of our sensor sets used so far on the other hand, and integrating them into the system so that the growing sensor park can work together properly. Based on our research so far, we have come to the conclusion that we need to create a self-developed global navigation device with a complete view of each element and a modular structure. Designing the device in this way allows us to operate it in a fully task-oriented manner and in harmony with our other sensors. Some prototype pieces were made from the device and functional tests began. The measurement data of these tests are presented in the article.

Keywords: self-driving vehicle, global navigation, sensor-fusion

1. Bevezetés

Biztosan elmondhatjuk, hogy napjaink egyik legnagyobb tudományos és mérnöki kihívása az önvezető járművek. A Széchenyi István Egyetemen a Járműipari Kutatóközpont és a budapesti Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet munkatársai fejlesztik az önvezető funkciók tesztelésére alkalmas elektromos járművet (1. ábra). Az egyik alapvető funkció a lokalizáció, amely jelenleg műholdas navigációs rendszereken alapul. Egy általános GNSS-érzékelő azonban csak 2-5 méter pontossággal tudja pozícionálni az út szintjét. Az önvezetés következő szintjeinek elérése (3-5. Szint) sáv szintű pozícionálást igényel, ehhez viszont centiméteres pontosságú (10 cm) GNSS-rendszerre van szükség. Ennek a megnövekedett teljesítménynek a biztosításához több hibaforrás kiküszöbölésére van szükség, amelyek általában korlátozzák a GNSS pontosságát. Az is fontos, hogy ezt a pontosságot robusztusan biztosítsuk. Ráadásul az

inerciális navigációs rendszer technológia használata, amelyben a GNSS-információkat helyi inerciális mérésekkel egészítik ki gyorsulásmérők és giroszkópok segítségével, ezenkívül további hasznos információkat nyújt, például a jármű irányáról, valamint növeli a helyzetinformációk gyakoriságát, simaságát és megbízhatóságát [1-2].



1. ábra Önvezető funkciók tesztelésére alkalmas átalakított elektromos autó

2. Lokalizációs rendszer fejlesztési szempontjai és rövid bemutatása

A rendszer tervezése előtt a már meglévő nagy pontosságú GNSS vevőinkkel, amelyek az átalakított elektromos tesztjárművünkre szerelve találhatóak, különféle helyzetekben méréseket végeztünk [3-4]. 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
- Multi-band RTK gyors konvergenciaidővel és megbízható teljesítménnyel
- Magas frissítési arány dinamikus alkalmazásokhoz
- Centiméter pontosság

Mivel a jármű iránya nagyon fontos az autonóm funkciók megvalósításához, a pontos helyzet mellett, és nehéz és pontatlan statikusan egyetlen antennarendszerrel meghatározni azt, két antennás megoldásra összpontosítottunk. Ennek megkönnyítése érdekében az u-blox kiadott egy kifejezetten erre a célra tervezett F9 SoC-t (ZED-F9H). Az egységhez opcionálisan bővíthető IMU panel tartozik a GNSS-INS szenzor-fúzióhoz, amelynek szinkronizálása kiemelt fontosságú az elvégzett tesztek szempontjából. A GNSS érzékelő a mérés pillanatában milliszekundum felbontású számlálót működtet, ez az iTOW (Time of Week) változó. A CAN interfészen ennek kisebb helyi értékű byte-ja kerül továbbításra a navigációs üzenetekkel. Egy hét időtartam 604,800,000 ms, 32-bites előjel nélküli számként kerül ábrázolásra. 16-bites előjel nélküli számként a maximális ábrázolható időtartam 65.536 másodperc. Mivel a GNSS navigációs adatok általában 1 másodperces vagy annál kisebb periódusidővel keletkeznek, a 16 bit terjedelmű időbélyeg alkalmas időbeli szétválasztásukra. Természetesen figyelembe kell venni az időbélyeg túlsordulását, azaz a 65535-ről 0-ra váltást.

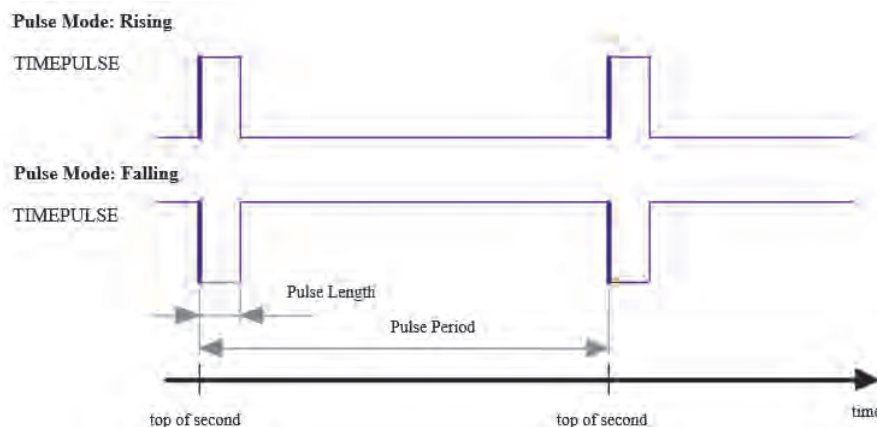
Az IMU mérések a navigációs üzenetekhez képest kisebb periódusidővel keletkeznek, ezért időbeli lokalizálásuk megoldható a GNSS időbélyeg milliszekundumonkénti 1-gyel való növelésével, amelyet az Epoch váltáskor kell újra- inicializálni, így biztosítható a szinkronitásuk max. 1 ms jitter mellett.

A 16-bites IMU időbélyeg tehát a GNSS időbélyeg által adott idő és az Epoch-váltástól eltelt idő ms-okban kifejezett értékének összege (mod 65536).

Az Epoch-váltáson a NAV_EOE (End of Epoch) UBX üzenet megjelenésének időpontját tekintjük, ezért lényeges, hogy a GNSS modul konfigurációjában az UART1 csatornán szerepeljen valamilyen periodicitással az EOE üzenet.

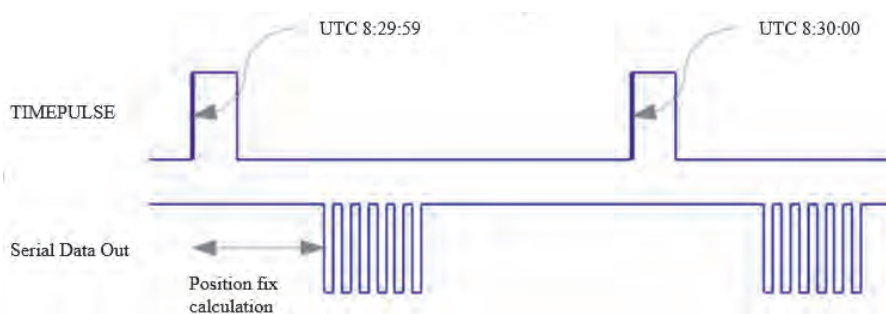
Mivel a navigációs CAN üzenetek az Epoch végén kerülnek továbbításra, a GNSS NAV üzenetek és az IMU mérési üzenetek nem feltétlenül sorrendben kerülnek a CAN buszra, azaz lesznek olyan IMU üzenetek, amelyek megelőzik a NAV üzeneteket.

A GNSS-INS szinkronizáció alapja a GNSS modul által adott 1PPS (TIMEPULSE) jel. Konfigurálható a jel periódusa, a generált impulzus időtartama, és polaritása.



2. ábra. TIMEPULSE beállítása

Ez úgy állítható be, hogy az emelkedő él pontosan 1 másodperces GPS vagy UTC időbeli változásnál következzen be, természetesen az időtartamot 1 másodpercre kell állítani.



3. ábra Üzenettartalom TIMEPULSE-hoz igazítása

A megtervezett egységek legyártásra kerültek (4. ábra). A legyártott panel alkatrész szintű kivizsgálása után, az u-blox által biztosított u-center szoftver segítségével az alapfunkciók tesztelése következett.



4. ábra Elkészült panelek egyenként illetve szétterítve

3. A mérési adatok elemzése

A mérési ciklusok során különböző útvonalakon haladtunk végig és mentettük a mért adatokat. Az 5. ábra mutatja a mentett mérések GoogleMaps-re rajzolt útvonalait. A mérés során 4 útvonal került rögzítésre melyek közül 2-2 egymással átfedésben vannak és egyes útszakaszokon az egymással ellenkező irányú úton helyezkednek el, továbbá egy aluljárón is áthaladtunk ahol teljesen kiestek a műholdjelek egy rövid időre. Erre azért volt szükség, hogy lássuk ismételt elhaladás ugyanazon az útvonalon milyen pontossággal valósul meg, illetve ugyanazon az útvonalon, de más közlekedési sávban haladva mennyire egyértelmű a jármű pozíciója és végül, de nem utolsó sorban azt is szeretnénk volna megvizsgálni, hogy kisebb műholdjel kiesések okoznak-e problémát a kiesés megszűnése után.



5. ábra Mentett útvonalak

Ahhoz, hogy a kérdéseinkre választ kapjunk közelebbről kellett megvizsgálni a mentett adatokat, ahogy a következő képen is látszik, két szituációba nagyítottunk bele. A bal oldali

részen az látható, hogy az sárga és zöld illetve kék és lila útvonalak ugyan azon az úton, de két különböző közlekedési sávban haladás eredményei. Ezekben az esetekben jó műhold vétel mellett és RTK (Real Time Kinematic) üzemmódban közlekedtünk. Az egyik fontos tervezési szempont volt, hogy erre képes legyen az eszközünk és a mérések során ez is hitelt érdemlően bizonyításra került. A mért útvonalak tekintetében is látható, hogy a várt eredmény született, miszerint ugyanazon az úton való elhaladás során a mért pontok fedik egymást illetve az egymás melletti közlekedési sávok is jól elkülöníthetők.

Az ábra jobb oldalán az aluljáróban való elhaladás került kinagyításra, itt az látható, hogy bár a jármű ugyanott haladt el mindkétyszer a rögzített pontokban 5m-es eltérés is mérhető, viszont ez az eltérés ebben az esetben jelentéktelen, mivel egy rövid műholdvétele kiesés történt és jelenleg meg az IMU adatok nincsenek felhasználva a navigációs algoritmusban. A műholdvétele kiesés után viszont gyorsan visszatért a megfelelő üzemmódba és pontossági tartományba ezzel eleget téve a jelenlegi követelményeknek.



6. ábra Egyes esetek kinagyítva az elemzéshez

4. Konklúzió a mérések alapján

Az elkészült navigációs eszköz első tesztelési fázisában kielégítő eredmények születtek az eszköz navigációs képességeit illetően. A tervezésnél támasztott igények és elvárások szerint képes a Multi-band RTK funkciók teljes körű megvalósítására a stabilan működő vezeték nélküli kommunikációs egységnek is köszönhetően. Továbbá az IMU egységből is jól olvashatók és rögzíthetők az adatok, viszont ezek még a jelenlegi formában nem használhatók a navigációs eljárásban, ehhez egyrészt egy kalibrálási metódust kell megfelelő módon megvalósítani, másrészt pedig egy szűrési algoritmust is implementálni kell, melyek a jövőbeni terveinkben szerepelnek is.

5. Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] Wagner, J.F.; Wieneke, T. Integrating satellite and inertial navigation—conventional and new fusion approaches. *Control Eng. Pract.* 2003, 11, 543–550.
- [2] 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.
- [3] Somogyi H.: Műholdas navigációs eszköz fejlesztése önvezető járművekhez; „Autonóm járművek”, konferencia 2020
- [4] H. Somogyi and A. Soumelidis, "Comparison of High-Precision GNSS systems for development of an autonomous localization system," *2020 23rd International Symposium on Measurement and Control in Robotics (ISMCR)*, 2020, pp. 1-6,

Appreciation of Massive Open Online Course (MOOC) platforms in the Hungarian automotive industry

Márk Csidei

Research Center of Vehicle Industry

csidei.mark@ga.sze.hu

Abstract: As technology develops alternative solutions are required in several areas. One of these areas is education and training. The purpose of this paper is to give a comprehensive review about the recognition of such platforms which offer online courses in multiple subjects for either a relatively low price or for completely free (they will be referred as MOOC platforms). The research is applied in the Hungarian automotive industry. This paper is meant to be a conceptual paper containing different types of sources, meaning both scientific papers as well as information from online websites. This research is meant to help in understanding the acceptance of Massive Open Online Courses by the vehicle industry human resources professionals for applicants in order to know how much time and capital does it worth investing in such learning method. Further research in the topic is planned to be aiming at the appreciation of such MOOC platforms in Hungary regarding technology skills such as big data, artificial intelligence.

Keywords: MOOCs, Systematic Literature Review, Survey, e-learning

1. Bevezetés

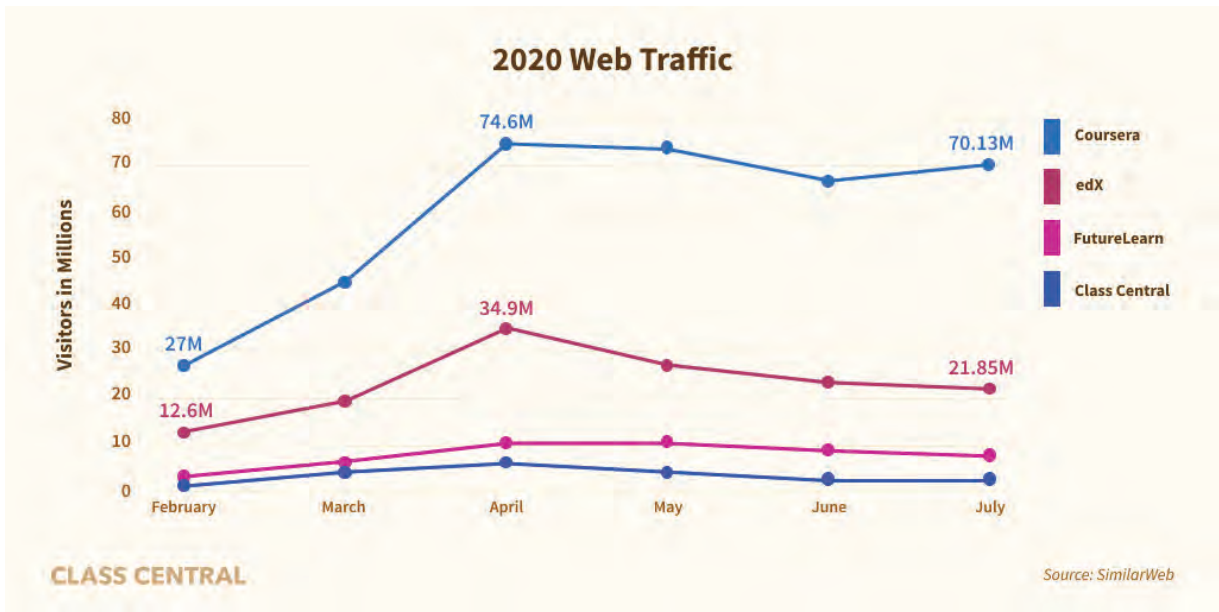
The history of Massive Open Online Course (MOOC) platforms is quite short, as the first MOOC can be originated back into 2011, where Sebastian Thrun and Peter Norvig advertised a free course on Artificial Intelligence at Stanford University (Mora, 2013). During the COVID-19 pandemic, in the first wave a significant increase in demand took place of such platforms (Shah, 2020-A). This can either mean a temporary increase which may stop when the pandemic stops, or it may also mean that the popularity of these platforms will increase more during the time and they will eventually change the world of learning and e-learning. (See I. figure)

This will be another key point in the digital transformation of the future world as it also opens questions about how effective these platforms are.

Firstly it is an essential point to understand what are called Massive Open Online Courses. By definition, mooc.org (2021) provides the following information:

“Massive Open Online Courses (MOOCs) are free online courses available for anyone to enroll. MOOCs provide an affordable and flexible way to learn new skills, advance your career and deliver quality educational experiences at scale.”

The definition describes such courses which are generally free, over the internet and can be taken by a large number of people in order to let them advance their career and learn new skills.

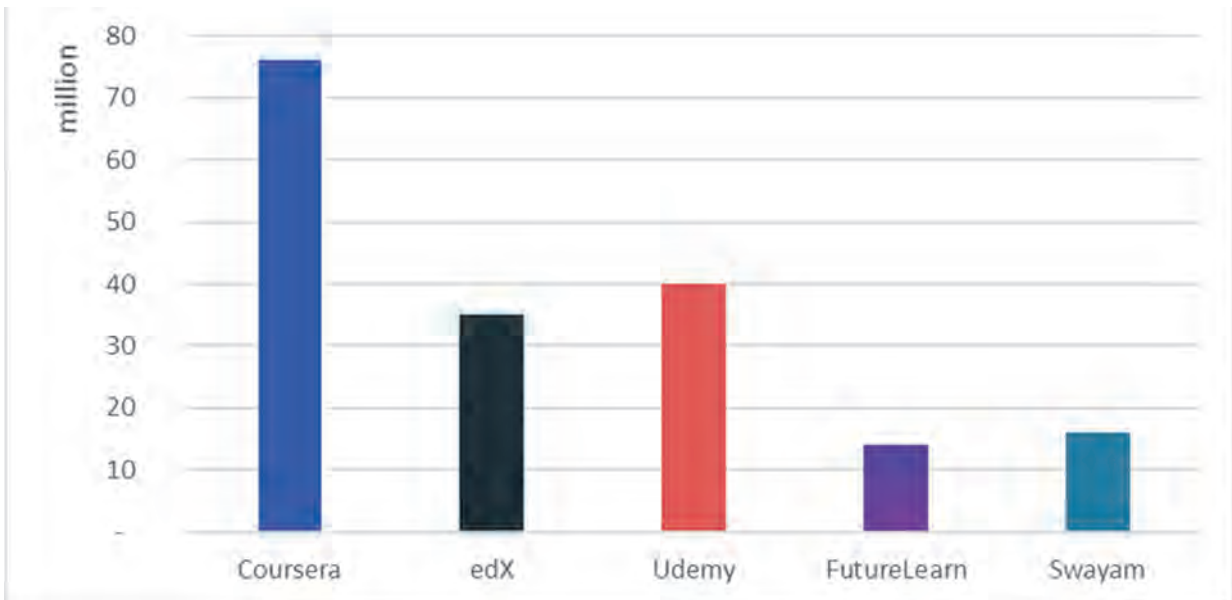


I. figure: Visitor base development of the most popular MOOC platforms in 2020. (Shah, 2020)

Those platforms which collect such MOOCs are called MOOC platform. To mention some examples, Course, EdX, Udemy, Udacity are a few of these platforms.

The total number of learners on these platforms is approximately 180 million people, which do not include China. 950 Universities are present on such platforms and 16.300 courses can be taken with 1,180 microcredentials. (Shah, 2020-B)

Coursera has the highest number of learners, followed by Udemy and edX. (See II. Figure)



II. figure: Number of learners by platofrms 2020

These platforms have several ways to generate income. The following methods are based on the article of Morrison (2016). The most popular revenue generation methods are unambiguously the certificate generations. Certificates are meant to prove that the learner has participated in the whole course, and that can be attached to the person’s CV or LinkedIn account. In this form it is a quick and easy way to get certificates, but from a business perspective, it is also a really cost effective method to generate revenues by automatically

issuing electronic certificates. There are other types of methods as specialisations where the base course is either free or costs a really low price. Nanodegrees are certified online programs which help students develop specialized skills (Balan, 2021). There are also paid courses which in most of the cases give certificates of completion as well.

2. Systematic literature review

In order to understand the attitude of MOOC platforms from the scientific and corporate side, a systematic literature review has been executed. The main goal of this search was to obtain sources which are useful enough for both further research purposes and give prior knowledge on the acceptance of MOOC platforms. The research has been conducted in 3 scientific databases including Scopus, Web of Science and EBSCO.

The research has been executed in 4 topics:

1st – Massive Open Online Course topic: The following keywords were used:” MOOC ; online ; platform ; Udemy ; Coursera ; edX ; Linkdedin (AND) learning”

2nd – Usefullnes: The following keywords were used: “Valid* ; use* ; appreciat* ; prefer*”

3rd – Employers: The following keywords were used: “employers; Human (AND) Resource; applicant* ; private”

4th – Automotive Industry: The following keywords were used: “Automotive ; vehicle ; industry*”

From these 4 fields a general search term has been developed which were applied only in the field of abstract in the following way:

“AB = ((MOOC OR online OR platform OR Udemy OR Coursera OR edX OR (Linkedin AND learning)) AND (Valid* OR use* OR appreciat* OR prefer*) AND (employers OR (Human AND Resource) OR applicant* OR Private) AND (Automotive OR vehicle OR industr*))”

After the use of this search term Web of Science database retrieved 637 results, Scopus database retrieved 1,827 results, while EBSCO database retrieved only 159 results. This was followed by selecting only those papers which were articles in English, the year of publication was between 2010 and 2021. The next step was selecting topics from the databases which were relevant in this field. The main topics selected were Business, management and economics, but topics such as decision science and multidisciplinary sciences were also selected in order to avoid categorization errors.

After the merging of these results and removing duplications based on DOI numbers, 10 articles were retrieved.

| Applied methodology | | | |
|-------------------------------|---------|-------------|-------------------|
| Systematic literature reviews | Surveys | Experiments | Conceptual papers |
| 2 | 4 | 3 | 1 |

I. Table: Results of systematic literature review

As mentioned before, the COVID-19 pandemic had a significant effect on the way of living, especially for the corporations in the management of employee loyalty and activity during the

pandemic. According to Chanana (2020) there are several engagement activities provided by corporations for their employees such as communication exercises, appreciation sessions and online courses as well and such activities can help the employees feel committed to the companies. Tongpaeng's (2019) research had been executed on Thai tourism industry knowledge workers however, the experiments performed show that the interactive e-learning and videos with shorter length have better results on the learning capacity of participants. On the reason why, these platforms may not be accepted by employers, Morillo (2020) gives a good example by an experiment, which showed that 100% of those students who have cheated on a Small Private Online Course (SPOC) managed to pass the exam as it serves as a perfect example of why professionals do not trust these courses. It is inevitable that these platforms are often questioned by the quality of their services and the application of the given MOOC in the given industry, this was also mentioned by Calogne's (2016) Berrosco's (2020) literature review. According to Mandelbaum (2014) there is still a strong preference among employers on traditional education related to MOOCs. On the other side, Hamori (2017) revealed that those employers who support the development of their employees are more likely to take MOOCs into consideration. In details those employees who use such learning platforms usually learn supplemental materials in the evening hours as well as those students who participate in a traditional learning in for example distance learning by a university programme, this was proved by Boroujeni (2016). These MOOCs are more often provided for full time employees rather than part time employees, stated by Hamori (2019).

3. Relevance and further research directions

The relevance in the automotive industry could be summarized by Monster.com's (2021) article stating the most looked for skill is the ability of developing artificial intelligence, this is followed by electrical engineering and digital sales. Among these skills mostly Artificial Intelligence development courses are provided by MOOC platforms so it can be stated that these platforms can be applied in order to further train employees.

Further studies are planned in analyzing job offer sites regarding automotive industry in order to better understand which skills are needed by companies. Another side of the research would be a more comprehensive literature review based on the first literature review's keywords in order to have a proper search term regarding the topic.

4. Acknowledgements

The research presented in this paper was carried out as part of the “Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

Irodalomjegyzék

Chanana, N. (2020). *Employee engagement practices during COVID-19 lockdown*. Journal of Public Affairs, e2508.

Robert S. Balan (2021) - What Is a Nanodegree? Should I Study One in 2021?. Source: <https://www.mastersportal.com/articles/2852/what-is-a-nanodegree-should-i-study-one-in-2021.html> , date of access: 2021.05.27.

Dhawal Shah (2020-A) - *By the Numbers: MOOCs during the Pandemic*. Source: <https://www.classcentral.com/report/mooc-stats-pandemic/> , date of access: 2021.05.27.

Dhawal Shah (2020-B) - *By the Numbers: MOOCs in 2020*. Source: <https://www.classcentral.com/report/mooc-stats-2020/> , date of access: 2021.05.27.

Sergio Luján Mora (2013) - *Brief (very brief) history of MOOCs*. Source: <http://desarrolloweb.dlsi.ua.es/moocs/brief-history-moocs> , date of access: 2021.05.27.

mooc.org (2021) - About MOOCs. Source: <https://www.mooc.org/#mooc-topics> , date of access: 2021.05.27.

Debbie Morrison (2016) - *Need-to-Know MOOC News: MOOCs Find Their Niche & Business Model in 2016*. Source: <https://onlinelearninginsights.wordpress.com/2016/02/03/need-to-know-mooc-news-the-mooc-business-model-gets-its-teeth-in-2016/> , date of access: 2021.05.27.

Tongpaeng, Y., Sureephong, P., Chernbumroong, S., Kamon, M., & Tabai, K. Vocational Knowledge Improvement Method on Massive Open Online Course for the Thai Tourism Worker. *on Computer and Information Technology Volume 13, No. 1, May 2019*, 94.

Jaramillo-Morillo, D., Ruipérez-Valiente, J., Sarasty, M. F., & Ramírez-Gonzalez, G. (2020). Identifying and characterizing students suspected of academic dishonesty in SPOCs for credit through learning analytics. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 1-18.

Santandreu Calonge, D., & Aman Shah, M. (2016). MOOCs, graduate skills gaps, and employability: A qualitative systematic review of the literature. *International Review of Research in Open and Distributed Learning: IRRODL*, 17(5), 67-90.

Valverde-Berrocoso, 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.

Mandelbaum, R. M. (2014). Acceptability of online degrees in employer hiring practices. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 10(2), 36-49.

Hamori, M. (2017, May). The drivers of employer support for professional skill development in MOOCs. In *European Conference on Massive Open Online Courses* (pp. 203-209). Springer, Cham.

Shirvani Boroujeni, M., Kidzinski, L., & Dillenbourg, P. (2016). How employment constrains participation in MOOCs?. In *Proceedings of the 9th International Conference on Educational Data Mining* (No. CONF, pp. 638-639).

Hamori, M. (2019). MOOCs at work: what induces employer support for them?. *The International Journal of Human Resource Management*, 1.

Monster.com (2021). 4 top skills auto companies are looking for in candidates. Source: <https://www.monster.com.my/career-advice/4-top-skills-auto-companies-are-looking-for-in-candidates-7527.html> , Date of acces: 2021.05.27.

Analysis of the Central and Eastern European Automotive Industry in relation to Hungary, the Czech Republic, and Slovakia

Sára Gerda Vig^a, Alex Suta^b, Árpád Tóth^c

^a Research Center of Vehicle Industry

vig.sara.gerda@ga.sze.hu

^b Research Center of Vehicle Industry

suta.alex@ga.sze.hu

^c Research Center of Vehicle Industry

totha@ga.sze.hu

Abstract: The choice of topic was justified by the fact that Hungary and its neighbors (Slovakia and the Czech Republic) play a key role in the European automotive industry. The study aims to map the general situation, development, and strength of the automotive industry in the Hungarian, Slovak, and Czech economies by comparing Central and Eastern European countries and publishing the latest data. The research focuses on the fundamental analysis of the companies represented in the industry. With a systematic literature review where we distinguished the sources which were about the automotive industry's future and the others which were about the general analysis of the automotive industry. And then we made our research by using descriptive statistical methodology and analyzing a sample what size is 2013. With cartographies, we represent our results about the analyzed companies' financial (balance sheet) and territorial data. We also made a conclusion figure which summarizes the whole research. With the help of our results, we can see the weak points of the automotive industry and these points will lead us toward further research with current (2020) information.

Keywords: Central-Eastern-Europe, Automotive industry, fundamental analysis, cartography

1. Introduction

The processing of the topic and at the same time the preparation of the study are justified by the outstanding performance of Hungary, the Czech Republic, and Slovakia in the industry. “The V4 countries can be considered a major power in the automotive industry in the European Union” (Bednárová, 2018), which are equally characterized by cheap but skilled labor force and significant state support (in the form of tax breaks).

As the V4 countries are a key area for the EU automotive industry, it is also important to highlight the current laws and regulations that apply to the industry. The most topical issue involves autonomous vehicles (according to PWC's researches). In this regard, on 17 May 2018, the European Commission published an EU strategy on autonomous mobility. As part of the strategy, the Commission has announced that it intends to work with the Member States in 2018 to ensure a harmonized approach to the EU approval procedure for autonomous vehicles. Technologies that are not required by EU vehicle rules, such as autonomous driving, can already be approved under the EU exemption procedure. Pending

the adoption of harmonized EU requirements, approval will be granted based on a national ad-hoc safety assessment, which will be mutually recognized by other Member States by a Commission decision. Then the vehicle type can be placed on the EU market in the same way as any other EU-approved vehicle. These guidelines also aim to streamline national, case-by-case assessments and mutual recognition of self-driving vehicles and to ensure fair competition and transparency.

The study aims to map the general situation, development, and strength of the automotive industry in the Hungarian, Slovak, and Czech economies by comparing Central and Eastern European countries and publishing the latest data. The research focuses on the fundamental analysis of the companies represented in the industry.

2. Literature Review

During the literature review, we had several studies and researches available on the topic we examined. However, the number of samples they analyzed and the methods they used were different, so we conducted a systematic review of the literature based on the different methods.

2.1. *Automotive industry trends and expected market size in the region*

The special attention paid to the CEE region is also justified by the growing foreign investment. A significant part of these is directed at the automotive industry.

In the case of Slovakia, Jaguar LandRover has launched an investment, started production on October 25, 2018, and production capacities allow the production of 150,000 vehicles (www.landrover.SK). In addition, in the spring of 2018, a Chinese manufacturer, Zhi Dou, also announced that it is targeting Slovakia as its potential production base. BMW also planned to expand its production units in Eastern Slovakia, but this took place in Debrecen, Hungary.

According to forecasts (McKinsey, 2019), with the growth of European demand, by 2025, significant production capacities will be built in four countries in Europe. And two of them are Central European.

Battery production plays an important role in the formation of the centers. This component is essential for the operation of both conventional and electric vehicles, so when it comes to future trends in the automotive industry, with a focus on self-driving vehicles, it is no coincidence that these centers - identified based on production capacity- focus on battery companies.

Poland will play a leading role in the future of battery manufacturing with a production capacity of about 45 GWh per year, followed by Sweden with 32 GWh, then Germany with 27 GWh, and finally Hungary with 23.5 GWh. There are currently three major automotive battery manufacturers in Hungary. The Japanese GS Yuasa Corporation, which established its first European plant in Miskolc, the South Korean Samsung SDI, which transformed and then expanded its existing plant in Göd, and the South Korean SK Innovation, which started production in Komárom (Túry, 2020).

There are four main car manufacturing plants in the Czech Republic: Škoda Auto's two plants, a joint venture between Toyota and Groupe PSA, and Hyundai Motors' only plant in the European Union. These three automakers produce a total of 1.3 million cars each year (AIA, 2017). Iveco Bus has the largest plant in the country. Other manufacturers of commercial vehicles are Tatra Trucks, SOR Libchavy, and Avia (<http://www.czechinvest.org/>).

The CEE block will appear as a special production center not only for Europe but also for global vehicle production. Following the regime changes, assembly subsidiaries of Western European OEMs (Original

Equipment Manufacturers) have been established in the region, which can be attributed to a dynamic increase in participation, including cheap labor and “mixing” of automotive traditions in a relatively small, easily demarcated area (Rechnitzer, 2017).

2.2. *The fundamental analysis of the automotive industry*

The role of the individual member states of the CEE region within the automotive industry and the position of the automotive industry in the case of each member state can be measured and separated based on various indicators.

At the micro-level, the quantification of business productivity is used primarily through managerial accounting methods (eg activity-based, life-cycle, or target cost calculation) and the Balanced Scorecard (BSC) strategic indicator system (Wimmer, 2002). The importance of this strategic framework lies in the link between strategic management and control, in which other - non-financial - perspectives emerge in addition to financial ones. The tool has become extremely popular for its simplicity, clarity, and responses to an essential driving problem.

- Perspectives of the balanced scorecard: financial point of view, customer point of view, point of view of operational processes, point of view of learning and development.

Criticisms of the method highlight the shortcomings of the tool, such as the fact that the perspectives do not take into account the company’s stakeholders, which can hinder cooperation with suppliers. Furthermore, it does not address the correlation between the variables and to date, little empirical research has supported that the data calculated by the BSC do indeed reflect the financial position of a given firm. In addition, its application requires an appropriate organizational culture and cannot be applied successfully to every type of company (Black & Butcher, 2008).

Approached from elsewhere (Porter, 1986), some of the literature categorizes firms based on added value. One of the most tangible indicators of these methods for measuring labor costs and labor productivity is the Gross Value Added (GVA).

The GVA gives the dollar value of the number of goods and services produced in a country, minus all inputs and raw material costs that are directly attributable to that output. Gross value added thus adjusts gross domestic product (GDP) based on its effect on subsidies and taxes (tariffs) on products.

- Gross value added (GVA) is an economic productivity indicator that measures the contribution of a corporate subsidiary, company, or municipality to an economy, sector, or region.
- Gross value is the country’s output minus intermediate consumption, which is the difference between gross output and net output.
- The gross value added indicator is important because it is used to adjust GDP, which is a key indicator of a nation’s entire economy.
- The indicator in question can also be used to indicate how much money a product or service has contributed to covering the firm’s fixed costs (<https://www.investopedia.com/terms/g/gross-value-added.asp>).

Another significant group of literature examined companies in the CEE region based on the Economic Value Added (EVA) indicator. Economic value added (EVA) is a measure of a company’s financial performance based on residual assets, calculated by deducting the cost of capital from operating profit, adjusted for cash taxes. EVA can also be called economic profit because it attempts to capture a company’s real economic profits. (Malichova, Durisova & Tokarcikova, 2017); Pavelková & Knápková, 2005; Neumaierová, Neumaier & Výkonnost, 2002; Pavelková et al., 2018).

In addition to the mentioned indicators, regression analysis with robustness tests can also be highlighted in terms of analysis methods (Li, 2020).

Although separate from the above, many pieces of literature have dealt with the measurement of intellectual values, most of which used the Continual Improvement Process (CI, CIP). CI involves a complex strategy - a coordinated and integrated activity driven by a top-down corporate strategy. The background of its structure is a vision, the definition of a mission (Zorkóciová, 2005,2007; Zorkóciová, Šimorová & Šášiková, 2014; Bouchikhi & Kimberly, 2007).

The area we are analyzing has recently been studied by other researchers who have chosen the method of descriptive analysis. Pavlínek & Ženka (2011), Horbulák (2019), Rechnitzer (2017) focused most on the roles of SMEs in the automotive industry. Although these studies have greatly aided our work, we focused specifically on large and middle-sized companies in our analyzes.

3. Research methodology

The purpose of our research is to analyze the financial data of Central and Eastern European automotive companies and to create a situational picture depending on the different regional data. The sample we analyzed includes 2013 companies that are active in Hungary, Slovakia, and the Czech Republic. The subjects of the sample were selected based on the TEÁOR code. It was also identified and narrowed down using the EMIS - Emerging Markets Information Service - database to exclude micro-enterprises.

We separated corporate and sole enterprises. In the following, we identified the NUTS codes of the sites of each company based on the postal codes. With the help of the codes, we were able to territorially identify the different regions, which were represented by maps (<https://gisco-services.ec.europa.eu/tercet/flat-files>).

The cartographies made during the analysis provide a comparison between the counties, primarily using a color scale according to the number of registered companies. In addition, pie and bar charts show the differences between the number of employees, the main profit categories (net sales revenue and profit after tax), and the main balance sheet categories (balance sheet total and equity).

Cartographies show the number of employees employed by the companies being analyzed. This can be determined by the Jenks natural breaks optimization method. Which is a data grouping method. It aims to reduce variance within classes and maximize the variance between classes.

4. Results and discussion

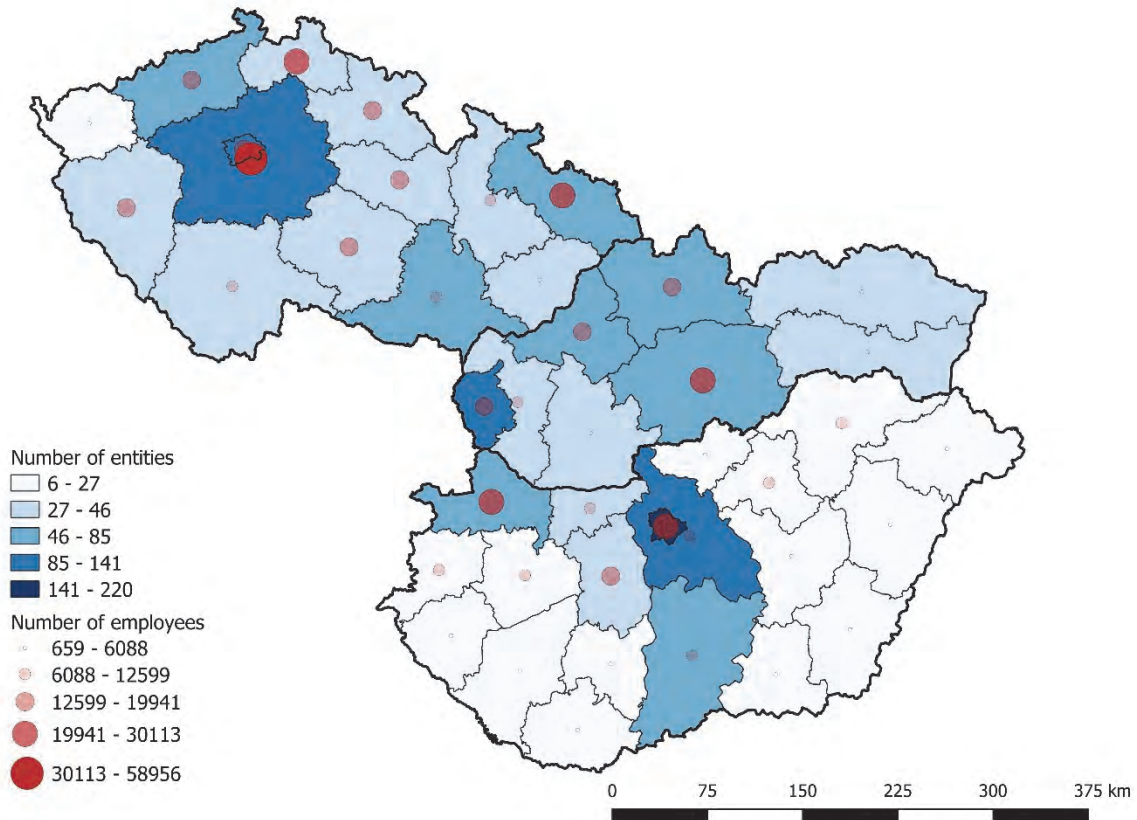


Figure 1.: Territorial distribution of automotive companies in Hungary, the Czech Republic, and Slovakia and the number of employees in 2019

The first figure shows the geographical location of the companies in the sample and the number of employees they employ. It can be seen that in the case of Hungary, the Czech Republic, and Slovakia, the automotive industry is primarily concentrated around the capital.

The largest number of companies operating in the automotive industry can be found in Budapest, and more than 141 companies operate in the Hungarian capital. Győr-Moson-Sopron County, Pest County, Budapest, and Bács-Kiskun County have a key role in the automotive industry, with 469 companies operating in the following areas and there are 81,391 employees.

In the case of Slovakia, Bratislava and its surroundings stand out. The central area of the country, the districts of Trenčín, Žilina, and Banská Bystrica, is also emphasized. Based on the sample we examined, we identified 241 companies in the mentioned areas, which employ 65,903 people. Based on the figure, it can be observed that the automotive network in Slovakia is more extensive than in Hungary and the Czech Republic, as there is no district in which the number of automotive companies falls below 27. This fact can also be explained by the fact that the area of the mentioned country is the smallest, but there are other reasons. The country's intensive automotive developments are due to rising FDI. The widespread and prominent economic automotive industry has resulted in different supplier networks reaching from large cities to villages, networking the entire country.

Just as, mentioned earlier, the agglomeration around the capitals in terms of the automotive industry, the Czech Republic is no exception. Most automotive companies are located in and around Prague, but Moravskoslezsky, Ustecky, Stredocesky, and Jihomoravsky counties also have a key role, with a total

of 398 companies and 120,554 employees. In the case of the Czech Republic, we can also talk about an extensive automotive network, but there is a county in the North-West with less than 27 companies.

However, if we look at the number of employees in addition to the territorial distribution, we can see that the Czech automotive industry employs the most employees, which is 243,759 people for the whole country. All this is made possible by 771 companies, which make up 40% of our entire sample. Although there are 816 companies in Hungary, they employ fewer people with their 166,154 employees than Czech automotive companies. In the case of Slovakia, we identified 426 automotive companies employing 97,781 people. Although in terms of volume, Slovak companies make up the smallest part of our sample, if we look at the proportion of their employees, it is higher than the Czech or Hungarian proportion.

Based on the 2019 data of trading economics, we have information about the number of the population in Hungary, the Czech Republic, and Slovakia. In the case of the Czech Republic, 5.3 million people out of a population of almost 11 million. The 771 companies in our database employ two hundred and forty-three thousand, which is 4.57% of the employees. Slovakia has a population of 5.45 million and 2.6 million of them are employed. So the 97,781 people employed by the 426 companies in our sample make up 3.77% of the employees. In the case of Hungary, we analyzed 816 companies that employ 166 thousand. The number of employees in the country is 4.6 million, so the members of our sample employ 3.59%.

It can also be observed that the number of companies operating in each region and the number of people they employ is not directly proportional. For example, there are 46-85 automotive companies in Bács-Kiskun County in Hungary, with between 6,088 and 12,599 employees. While there are only 27-46 companies in Fejér county, the number of employees can still be classified between 12,599 and 19,941. Similar cases can be seen in Slovakia and the Czech Republic.

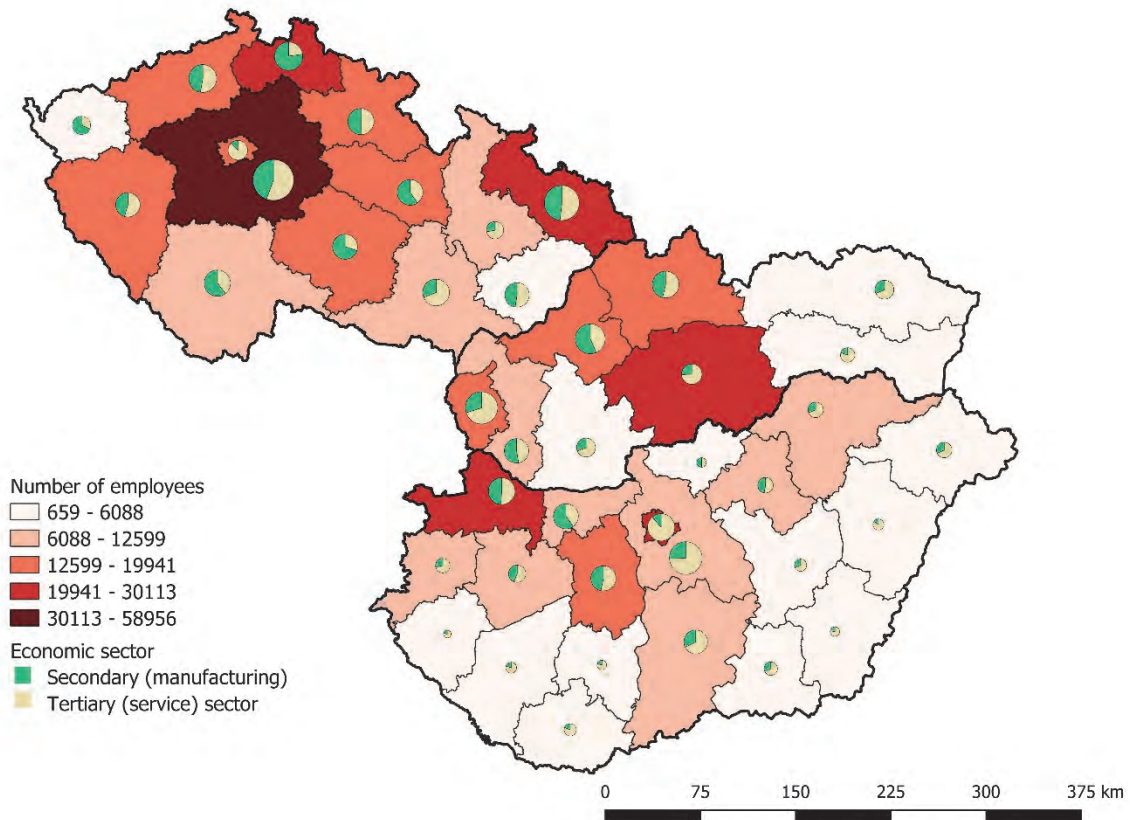


Figure 2.: Distribution of automotive companies in Hungary, the Czech Republic, and Slovakia by industry sector and number of employees in 2019

Figure 2 shows the distribution of the automotive industry in the studied countries, taking into account the service sectors. We distinguished the scope of activities of companies operating in the industry based on the NAICS code. Using the codes, we defined the tertiary, service sector, and the secondary, manufacturing sector, and then compared the data with the number of employees.

The yellow color stands out on the map, indicating activity in the service sector. The number of companies operating in the sector is the most significant in Hungary. 73% of the 816 companies identified in the country operate in the tertiary sector. In the case of the previously defined - from the point of view of the automotive industry - counties, a similar distribution can be discovered. In the area covered by Győr-Moson-Sopron, Budapest, Pest, and Bács-Kiskun counties, 365 out of 469 companies operate in the service sector.

A similarly high distribution can be observed for Slovakia. Of the subjects in our sample, 426 companies operate in the country, of which only 154 are engaged in manufacturing. In the case of the previously mentioned priority counties, 89 out of 241 automotive companies are active in the second sector.

The smallest difference between the two sectors can be found in the Czech Republic. Of the companies we analyzed — 771 units — 56% operate in the service sector and 44% are engaged in manufacturing. In the case of the aforementioned counties, a slightly more significant difference can already be detected. Of the 398 companies, 264 operate in the tertiary sector, so the service sector is more important in the priority areas than at the national level.

According to our sample, we can say that in Hungary the tertiary sector has the largest role and in the Czech Republic the secondary one. However, it is important to point out that, in general, the secondary sector is more pronounced for automotive companies.

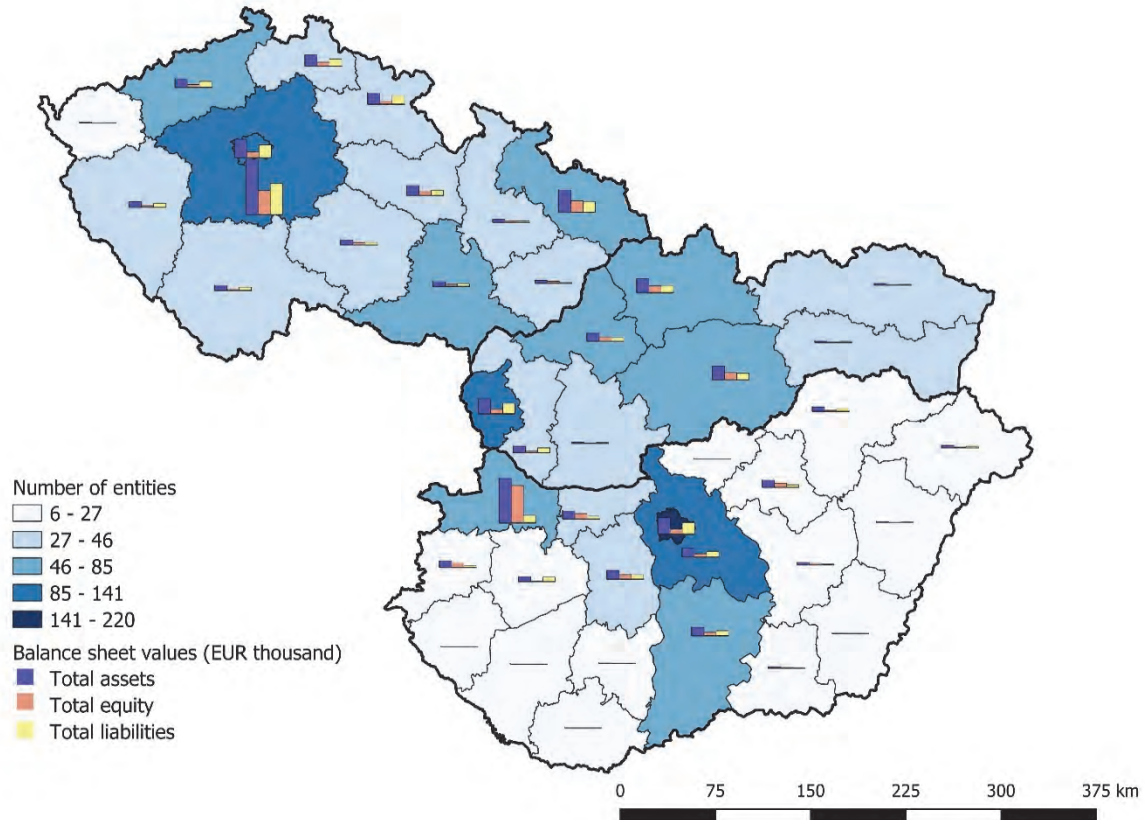


Figure 3: Territorial distribution and balance sheet total of automotive companies in Hungary, the Czech Republic, and Slovakia in 2019

In addition to the number of employees and the definition of sectors, we also analyze the balance sheet composition of the members in our sample. At first glance, it can be stated that most companies with equity operate in the Czech Republic, but also stand out in Slovakia, Bratislava, Trenčín, Zilina and Banská Bystrica districts, and in Hungary Győr-Moson-Sopron county, Pest county, Budapest, and Bács-Kiskun county. Although not highlighted before, it is important to highlight the counties of Komárom-Esztergom and Fejér on this map.

Among the companies analyzed, the equity of Audi Hungaria Zrt. in Hungary is the highest, EUR 9,174,731,000, which the Czech Skoda Auto a.s. approaching with EUR 4,314,286,000 and Volkswagen Slovakia a.s. followed by EUR 1,656,521,000. However, in terms of the composition of the balance sheet, it should also be noted that equity is best when the company can cover its liabilities, or at least most of them. Among the key companies, Audi Hungaria Zrt. Can cover its costs the most from its capital, the other companies need to use a larger proportion of external sources.

Overall, the equity of companies operating in Hungary is the largest, at EUR 20,090,657,000, while that of Czech companies is EUR 18,222,599,000 and that of companies operating in Slovakia is EUR 7,006,080,000. This result becomes even more valuable in the knowledge that if we aggregate the results of companies, only in Hungary the total equity is greater than the value of all liabilities. In

Slovakia, equity is EUR 7,006,080,000 and liabilities are EUR 9,560,474,000, while in the Czech Republic, equity is EUR 20,090,657,000 and liabilities are EUR 26,185,194,000.

If we observe the number of companies and the balance sheet data displayed by the bar charts, we can say that there are different asset and area concentrations in each country. In the Czech Republic, Prague and its region stand out, in Slovakia Bratislava and the central region of the country, and in Hungary, Pest County, Győr-Moson-Sopron and Bács-Kiskun County. It is no coincidence that these areas have been highlighted in the past. The countries' automotive industries are heavily dependent on these regions and the multinational companies that operate there. However, such levels of concentration and interdependence can make the industry vulnerable. If there are any obstacles during the procurement and contacts, the whole supply chain will be damaged, which will affect the whole country.

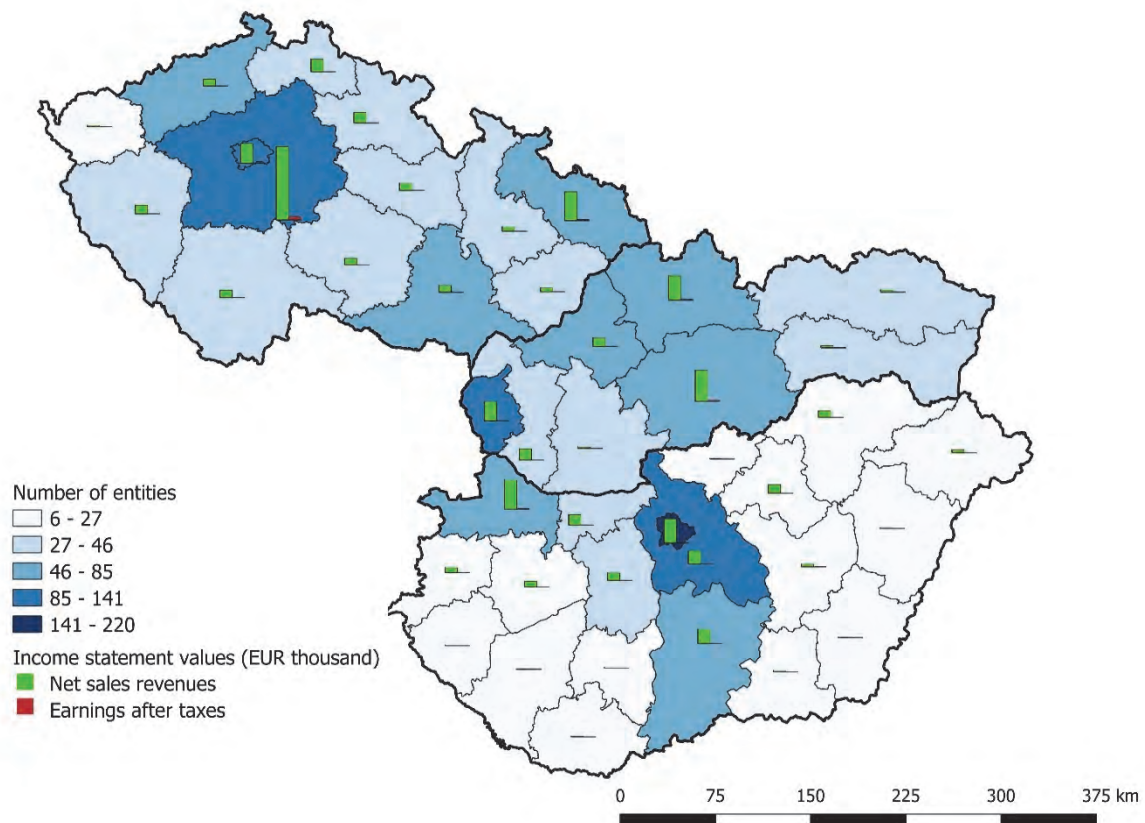


Figure 4: Territorial distribution and net sales of automotive companies in Hungary, the Czech Republic, and Slovakia in 2019

Figure 4 shows that the development of net sales and the number of companies operating in each district are related. The companies with the highest price revenues are located in the counties where a relatively large number of automotive companies operate. The companies with the highest price revenues can be found in the counties and districts that were previously highlighted several times.

In Hungary, Audi Hungaria Zrt. Has the largest revenue, EUR 8,561,132,000. He is followed by Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft. With EUR 3,686,591,000 and Magyar Suzuki Zrt. With EUR 2,409,596,000. In addition, Robert Bosch Elektronika Kft., Porsche Hungaria Kft. And Continental Automotive Hungary Kft. have revenues above EUR 1,000,000,000.

In the Czech Republic, Skoda Auto a.s leads the ranking with EUR 17,883,534,000, followed by Hyundai Motor Manufacturing Czech Republic s.r.o with EUR 4,796,504,000 and Continental Automotive Czech Republic s.r.o with EUR 2,712,035,000. Toyota Motor Manufacturing Czech Republic s.r.o and Mobis Automotive Czech s.r.o are also above sales of EUR 1 billion.

Volkswagen Slovakia a.s has the highest price revenue in Slovakia, which is 10,390,134,000 euros. This is followed by Kia Motors Slovakia s.r.o, which in 2019 had sales of EUR 5,593,433,000. PCA Slovakia, s.r.o has the third-largest turnover, which is EUR 3,187,706,000. In addition, Mobis Slovakia, s.r.o., has a turnover of over EUR 1 billion.

Overall, Hungary has the lowest total sales revenue of the market-leading automotive companies, at EUR 22,070,685,000 for the top 10, EUR 24,207,682,000 for Slovakia, and the highest at EUR 32,175,120,000 in the Czech Republic.

5. Conclusion

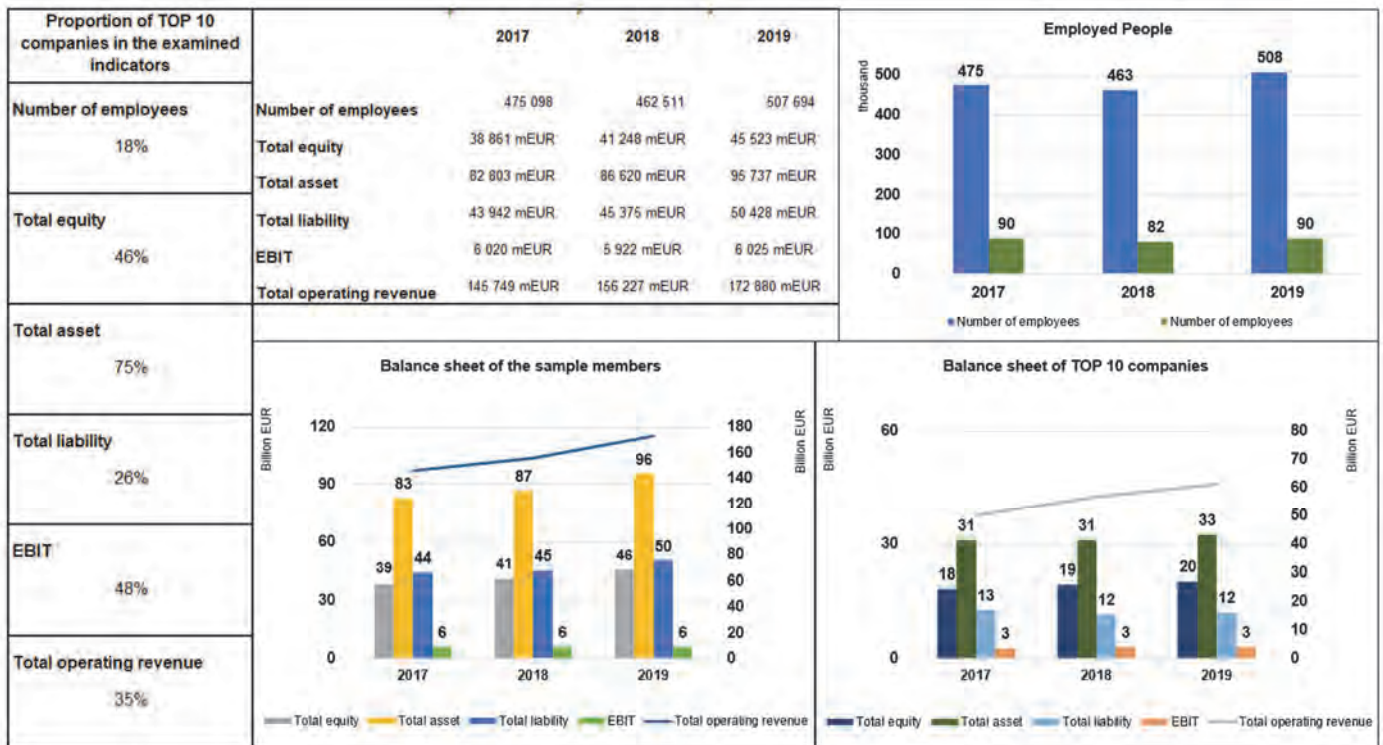


Figure 5: Summary dashboard of analyzed companies

In the summary figure, we can comprehensively review the data of the members of the sample we examined, as well as the data of the top 10 companies in 2017, 2018, and 2019. First of all, the figure on the left shows us how much the results of the top 10 companies (Audi Hungaria Zrt., Skoda Auto a.s, Volkswagen Slovakia a.s, Kia Motors Slovakia, Hyundai Motor Manufacturing Czech s.r.o, Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft., Magyar Suzuki Zrt., Continental Automotive Czech Republic s.r.o., PCA Slovakia, Toyota Motor Manufacturing Slovakia s.r.o), are compared to the sample as a whole. The values of assets, as well as working capital and EBIT, stand out. Going further, we can see how the balance sheet composition of the surveyed companies changed from 2017 to 2019 based on the values in our database. It can be seen that the number of assets, liabilities, and equity ratios have also increased. The values on the right-hand side of the bar chart represent the working capital represented by the line, which also increased over the years, to EUR 170 million in 2019. The following chart is structured

similarly, showing only the balance sheet data of the top 10 companies. In their case, growth can also be realized, both in terms of equity and liabilities. As for assets, the growth rate is less dynamic but perceptible. Working capital in 2019 was over EUR 60 million. And the chart above shows us the evolution of the ratio of the number of people employed by the sample members to the top 10 companies over the years. We can say that by 2019, the number of employees has increased, in any case.

The summary table also reveals how big a role only 10 companies play compared to the 2013 companies we analyzed. This fact also supports our previous statement that the automotive industry is highly concentrated around certain multinational companies and regions, which means a strong network of dependent relationships. This vulnerability is a weak point in the industry, as individual obstacles, such as a virus situation, can easily affect results and workflows. The 2020 data, which are not yet fully available, may provide an answer to this question and conclusion, but the search for proof will lead us forward to a further study.

6. Acknowledgment

The research presented in this paper was carried out as part of the “Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

7. References

1. Akcaoglu, E., & Erol, C. (2011). The Race between the Czech Republic and Turkey for Hyundai's Investment in Europe. *Transnational Corporations Review*, 3(4), 71-86.
2. Bastos, D. D., Nakamura, W. T., & Basso, L. F. C. (2009). Determinants of capital structure of publicly-traded companies in latin america: The role of institutional and macroeconomic factors. *Journal of International Finance and Economics*, 9(3), 24-39.
doi:<https://doi.org/10.2139/ssrn.1365987>
3. BEDNÁROVÁ, E. (2018): Analýza automobilového priemyslu Slovenska a krajín V4. *Journal of Global Science* 3 (1): 1–7.
4. Bokpin, G. A. (2009). Macroeconomic development and capital structure decision of firms: Evidence from emerging market economies. *Studies in Economics and Finance*, 26(2), 129-142. doi:<https://doi.org/10.1108/10867370910963055>
5. Bouchikhi, H., & Kimberly, J. R. (2007). *The Soul of the Corporation: Strategies for Leading in the Age of Identity*. Wharton School.
6. Brealey, R., Myers, S., & Allen, F. (2011). *Principles of corporate finance*. New York, NY: McGraw-Hill
7. Cekrezi, A. (2013). The determinants of capital structure: Evidence from Albania. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2(9), 370-376.
doi:<https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n13p482>
8. Dicken, P. (2007). *Global shift: Mapping the changing contours of the world economy*. SAGE Publications Ltd.
9. DICKEN, P. (2011): *Global Shift. Mapping the Changing Contours of the World Economy*. Sage, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington D. C.

10. Eddy, J., Pfeiffer, A., & van de Staaïj, J. (2019). Recharging economies: The EV-battery manufacturing outlook for Europe. *McKinsey & Company*. Available online: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe> (accessed on 28 October 2020).
11. Fekete M. és Mészáros Á. (2008) "Balanced Scorecard a gyakorlatban", IFUA Horváth and Partners Kft. pp.6-12.
12. Grodzicki, M. J., & Skrzypek, J. (2020). Cost-competitiveness and structural change in value chains—vertically-integrated analysis of the European automotive sector. *Structural Change and Economic Dynamics*, 55, 276-287.
13. Hedvičáková, M., & Král, M. (2019). Benefits of KPIs for industry sector evaluation: The case study from the Czech Republic. *E+ M. Ekonomie a management*, volume 22, issue: 2.
14. Hlušková, T. (2019). Competitiveness Outlook of the Automotive Industry in the V4 Countries. *Studia Commercialia Bratislavensia*, 12(41), 24-33.
15. Horbulák, Z. (2019). A szlovákiai gépjárműgyártás helyzete és kihívásai. *Területi Statisztika*, 59(03), 328-348.
16. Humphrey, J., & Memedovic, O. (2003). The global automotive industry value chain: What prospects for upgrading by developing countries. *UNIDO Sectorial Studies Series Working Paper*.
17. Jencova, S., Litavcova, E., & Litavec, T. (2015). Quantification of funding and analysis of the financial position of engineering companies in the Slovak Republic. *Polish Journal of Management Studies*, 12.
18. Jürgens, U., & Krzywdzinski, M. (2009). Changing East–West division of labour in the European automotive industry. *European Urban and Regional Studies*, 16(1), 27-42.
19. Khemiri, W., & Noubbigh, H. (2018). Determinants of capital structure: Evidence from sub-Saharan African firms. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 70(6), 150-159. doi:<https://doi.org/10.1016/j.qref.2018.04.010>
20. Kompalla, A., Kopia, J., & Tigu, G. (2016). Limitations of business strategies and management systems within automotive industry. *Inted 2016*, 3817-3827.
21. LENGYEL, I. (2010): Regionális gazdaságfejlesztés. Versenyképesség, klaszterek és alulról szerveződő stratégiák Akadémia Kiadó, Budapest
22. Li, Y. (2020). The effects of external debt financing and internal financing on firm performance: empirical evidence from automobile listed firms (Master's thesis, University of Twente).
23. Łojek, P. (2020). The relationship between profitability and financial liquidity among the importers of best-selling brands of new cars in Poland. *Central European Economic Journal*, 7(54), 127-142.
24. Malichova, E., Durisova, M., & Tokarcikova, E. (2017). Models of application economic value added in automotive company. *Transport Problems*, 12.
25. Mallisa, M., & Kusuma, H. (2017). Capital structure determinants and firms' performance: Empirical evidence from Thailand, Indonesia and Malaysia. *Polish Journal of Management Studies*, 16(1), 154-154.
26. Misztal, A., Belu, N., & Rachieru, N. (2014). Comparative analysis of awareness and knowledge of APQP requirements in Polish and Romanian automotive industry. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 657, pp. 981-985). Trans Tech Publications Ltd.

27. Molnar, E., Kozma, G., & Penzes, J. (2015). INTRA-REGIONAL TRADE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY OF EAST-CENTRAL EUROPE. *GEOGRAFIE*, 120(3), 297-313.
28. Myers, S. C. (1984). Capital structure puzzle (Technical report). National Bureau of Economic Research, California, CA
29. Myers, S. C. (2001). Capital structure. *Journal of Economic Perspectives*, 15(2), 81-102. doi:<https://doi.org/10.1257/jep.15.2.81>
30. Neumaierová, I., & Neumaier, I. (2002). *Výkonnost a tržní hodnota firmy*. Grada.
31. Öztekin, Ö. (2015). Capital structure decisions around the world: Which factors are reliably important? *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 50(3), 301-323. doi:<https://doi.org/10.1017/S0022109014000660>
32. Pavelková, D., & Knápková, A. (2005). *Výkonnost podniku z pohledu finančního manažera*. Linde spol. s ro.
33. Pavelková, D., Homolka, L., Knápková, A., Kolman, K., & Pham, H. (2018). EVA and key performance indicators: The case of automotive sector in pre-crisis, crisis and post-crisis periods. *Economics and Sociology*.
34. Pavlínek, P. (2008). *A successful transformation?: restructuring of the Czech automobile industry*. Springer Science & Business Media.
35. Pavlínek, P. (2012). The internationalization of corporate R&D and the automotive industry R&D of East-Central Europe. *Economic Geography*, 88(3), 279-310.
36. Pavlínek, P. (2015). The impact of the 2008–2009 crisis on the automotive industry: global trends and firm-level effects in Central Europe. *European Urban and Regional Studies*, 22(1), 20-40.
37. Pavlínek, P. (2020). Restructuring and internationalization of the European automotive industry. *Journal of Economic Geography*, 20(2), 509-541.
38. Pavlínek, P., & Ženka, J. (2011). Upgrading in the automotive industry: firm-level evidence from Central Europe. *Journal of Economic Geography*, 11(3), 559-586.
39. PORTER, M. E. (1986): *Competitive Advantages* The Free Press, New York.
40. RECHNITZER, J.–HAUSSMANN, R.–TÓTH, T. (2017): A magyar autóipar helyzete nemzetközi tükröben *Hitelintézeti Szemle* 16 (1): 119–142.
41. Růčková, P., & Škuláňová, N. (2020). What Determines Leverage in Selected Countries of Central and Eastern Europe in the Automotive Industry. *Růčková, P., & Škuláňová, (2020)*.
42. Salehi, M., & Manesh, N. B. (2012). A study of the roles of firm and country on specific determinates in capital structure: Iranian evidence. *International Management Review*, 8(2), 51-62
43. Schamp, E. W. (2005). Die Autoindustrie auf dem Weg nach Europa. Zur Integration nationaler Standortsysteme der Autoproduktion. *Geographische Rundschau*, 57(12), 12-19.
44. Tóth, Á., & Szigeti, C. (2019). Example of a German free-float car-sharing company expansion in east-central Europe. *Resources*, 8(4), 172.
45. Túry, G. (2020). A hazai vállalati innováció eredményei a jövő autózásában: Magyarország helye az autóipar globális értékláncában.
46. Van Riel, A. C., Liljander, V., Semeijn, J., & Polsa, P. (2011). EU deregulation and dealer-supplier relations in automotive distribution. *Journal of Business & Industrial Marketing*.
47. Wimmer, A. (2002). *Nationalist exclusion and ethnic conflict: Shadows of modernity*. Cambridge University Press.

48. Zorkóciová, O., Šimorová, L., & Šášiková, M. (2014). Corporate Identity as a Strategic Tool for Companies to Remain Competitiveness in Car Industry during Current Financial and Economic Crisis. *Journal of Applied Economics & Business Research*, 4(1).

Review of Hungarian companies engaged in the development of autonomous vehicles

Kitti Kelemen^a, Alex Suta^b, Árpád Tóth^c

^a Research Center of Vehicle Industry
kelemen.kitti@ga.sze.hu

^b Research Center of Vehicle Industry
suta.alex@ga.sze.hu

^c Research Center of Vehicle Industry
totha@ga.sze.hu

Absztrakt: Magyarország gazdasági teljesítménye nagyban függ az autóiipartól és a kapcsolódó iparágaktól, amelynek fejlesztésében más európai országok nagy segítséget nyújtottak. Az önvezető járművek fejlesztése fontos a közúti biztonság szempontjából, mivel ez kiküszöböli az emberi hibákat. A magyar autonóm ipar folyamatos fejlődésének köszönhetően nagy lehetőség lehet a nemzetközi befektetők számára. Beszállítói mellett, mint például a Bosch, a Continental, a Knorr-Bremse vagy a ThyssenKrupp, számos független magyar intézmény is aktív az iparban. Célunk a magyarországi autonóm járművek fejlesztésével foglalkozó vállalatok pénzügyi adatainak elemzése, és a különböző adatok változásainak függvényében helyzetkép kialakítása. Az elemzés során készített diagramok segítségével összehasonlítottuk a társaságok eredményeinek, eszköz- és forráskategóriáinak alakulását legfrissebb jelentéseik alapján. Az autóiiparban kutatás-fejlesztéssel foglalkozó vállalatok értéke majdnem kétszer olyan magas, mint a fejlesztő vállalatoké, ami annak köszönhető, hogy Magyarországon kevesebb fejlesztő céget találtunk. Nem könnyű beazonosítani az érintett vállalatokat, mivel más-más besorolású TEÁOR-kódok szerint működnek.

Kulcsszavak: autonóm, kutatás & fejlesztés (K+F), járműipar

Abstract: Hungary's economic performance largely depends on the automotive and related industries, in the development of which other European countries have provided great assistance. The development of self-driving vehicles is important for road safety, as this will eliminate human errors. The Hungarian autonomous industry can be a great opportunity for international investors due to its continuous development. In addition to their suppliers, such as Bosch, Continental, Knorr-Bremse, or ThyssenKrupp, many independent Hungarian institutions are also active in the industry. Our goal is to analyze the financial data of the companies engaged in the development of autonomous vehicles in Hungary and to create a situation picture depending on the changes in the various data. With the help of the diagrams made during the analysis, we compared the development of the companies' results, asset and liability categories based on their latest reports. The values of companies engaged in R&D in the automotive industry are almost twice as high as those of developer companies, which is because we found fewer developer companies in Hungary. It is not easy to identify the companies involved, as they operate under differently classified TEÁOR codes.

Keywords: autonomous, research & development (R&D), vehicle industry

1. Introduction

Hungary is one of the most industrialized countries in Europe, as industry accounts for almost 24% of GDP. Hungary's economic performance largely depends on the automotive industry and related industries, in the development of which other European countries have provided great assistance (Nick et al., 2019). Electric vehicles are becoming increasingly important, the production of which requires more and more mechanization. Consequently, the future of the autonomous automotive industry depends on general modernization and its territorial spread. Although the innovations of the Fourth Industrial Revolution are already somewhat present in Hungary, the magnitude of the changes is difficult to estimate in the absence of comprehensive analyzes (Molnár et al., 2020).

Preliminary studies have shown that millions of engines and 500-600 thousand vehicles are produced annually in the three thousand-kilometer radius of the Győr-Esztergom-Szentgotthárd triangle. Due to this, a region was created in Hungary at the beginning of the century, where the factories of different economic organizations are typically located. The automotive industry, including the production of passenger cars and autonomous vehicles, developed better in Central and Western Transdanubia. The ranking of counties in terms of competitiveness also confirms the former statement, as only two counties, Győr-Moson-Sopron and Komárom-Esztergom, were included in the category of those with relatively strong competitiveness (Smahó, 2012).

Mobility has become an essential part of everyday life, and we hardly notice that means of transport shape civilization. As a result, safe transport is essential, and self-driving vehicles can be a great help in shaping it. As early as the 90s, attempts were made to automate cars. European projects were based entirely on vehicle intelligence, while in Japan, systems were developed in which the car interacted with the highway. Smaller private attempts to pay more attention to security also appeared in the 2000s. There are currently several small and medium-sized projects with high potential. The private sector is most affected in this area. Almost every car manufacturer has a project related to a self-driving car or at least participates as a sponsor. Today, research is greatly aided by sensors, advanced software, and hardware. As they develop better and better hardware, they still face hurdles, as the future of self-driving cars depends most on artificial intelligence software. Car manufacturers already use several driving assistance systems in their latest models. These cars are present as a transitional element on the road to self-driving, as the assistance systems already in use are used in self-driving cars (Forrest & Konca, 2007).

Our research aims to assess the financial situation of Hungarian companies engaged in autonomous vehicle development, depending on whether this is their main activity or only participating in the developments.

2. Literature review

The development of self-driving vehicles is important for road safety, as this will eliminate human errors. These electric vehicles already have digital technologies that help them sense

their environment and respond independently to change (Mester, 2019). Vehicles with an independent decision function appeared sooner than we would have noticed. In some cases, machines are better at assessing the situation than we are and therefore take the necessary steps on our behalf. Think of the Antilock Breaking System (ABS) that is already found in almost every car. These driving assistance systems are built into cars step by step, which contributes to the development of self-driving (Pardavi, 2019).

Autonomous vehicles without a driver can be divided into three groups:

- UGV (Unmanned Autonomous Ground Vehicles)
- UMV (Unmanned Autonomous Marine Vehicles)
- UAV (Unmanned Aerial Vehicles)

We distinguish six levels of autonomous vehicles, which indicate different degrees of development in terms of automation. This system was developed by the Society of Automotive Engineers (SAE) (Mester, 2019). The levels are separated based on the extent to which developments and systems that do not require human intervention are present. (Theoto & Kaminski, 2020). However, these degrees cannot be so clearly defined. As a result, there is a heated debate about exactly where the boundary is between each level.

We can distinguish 4 strategic attitudes of OEMs when presenting their self-driving vehicles. Premium incumbents: A high degree of development will likely be characteristic of their management assistance systems. Attackers: New industry players who focus on accessible mobility. For example high tech giants, Tier 1 suppliers. Fast followers: OEMs with significant technical and commercial legacy who are unlikely to invest in improvements. Late entrants: They do not enter the market for self-driving vehicles (Bertoncello & Wee, 2015).

Many countries are engaged in the development but have achieved different levels of automation. Areas are being built in major Asian cities such as Singapore, Shanghai, Tokyo to test and develop self-driving cars. In South Korea, Samsung recently acquired Hamrant as its Tier 1 supplier, but analysts believe Samsung will not play a major role in developing self-driving technologies. Hyundai Motors is working with HD maps to move developments forward. In Japan, carmakers have joined together to develop self-driving vehicles, as they planned to be able to put self-driving cars into practice for the 2020 Tokyo Olympics. In China, Baidu is at the forefront of Asian companies with innovative deep learning technologies. The Chinese government plans to introduce self-driving vehicles by 2025, partly in truckage. Several other OEMs: Didi Chuxing, NIO, Faraday Future, Geely thanks to Volvo, Nvidia are all in competition.

Volkswagen came into focus when it won the U.S. Darpa Grand Challenge in 2005 in partnership with Stanford University. Thanks to technological advances, it is planned to be able to implement Level 5 self-driving by 2020. In the U.S., they can make further progress with the help of commercial providers such as Cruise, Waymo, Uber, and Lyft. Waymo has already spent more than \$ 1.1 trillion to improve its capability by investing in simulations, mapping, and real-world leadership and testing (Daily, M. et al., 2017).

2.1 Financing of autonomous vehicle development

We distinguish four stages of the innovation life cycle: Research, Growth, Scale, and Maturity. The innovation lifecycle began in 2004 with the announcement of Darpa's first Grand Challenge. Over the past decade, venture capitalists and companies have begun investing in vehicle development startups. According to CB Insight, in the first three quarters of 2018, venture capital investments spent \$ 4.2 billion in the sector. Finally, according to reports from Alix Partners, an additional \$ 61 billion has been set aside for autonomous vehicle (AV) technologies. To date, 6 widespread cases involving autonomous land vehicles have been identified: special vehicles operating in controlled environments, low-speed autonomous passenger vehicles, robot taxis, privately owned vehicles, long-distance trucks, and delivery cars, including sidewalk robots (Evangelos, 2019).

It is estimated that for a company to maintain a strong position in all four areas (self-driving, car interconnection, electric cars, smart mobility), it will require an investment of approximately \$ 70 trillion by 2030. It is doubtful that any OEM could make such an investment on its own, which is why cooperation and acquisitions are needed. The number of investments in start-ups has increased significantly. Since 2010, investors have invested \$ 220 billion in more than 1,100 companies within the 10 technical groups, including \$ 30 billion for self-driving vehicle sensors and Advanced Driver Assistance System accessories, and \$ 13.5 billion for required software and mapping. The first \$ 100 billion investment was made by 2016. 90% of investments come from tech companies that are not present in the autonomous market. The tech players - Tesla, Uber, Waymo - have grown significantly into the autonomous space and there are already more than traditional OEMs. Uber is worth \$ 70 billion more than BMW or Daimler.

Cruise and Honda have agreed to work together on autonomous vehicle development, and Honda is devoting \$ 2 billion to Cruise's 12-year effort and investing an additional \$ 750 million in the company, in which Soft Bank also invested in 2018, but hand over the other part of that amount when the car is ready for use (Holland-Letz et al., 2019). Many other strategic partnerships have also developed over the years, such as the merger of General Motors with Cruis in 2016, Renault-Nissan's collaboration with Microsoft, BMW with Intel, and Mobileye. Ford has invested \$ 1 billion in Argo AI and Hyundai Mobis has been working with Russia's largest tech company Yandex since 2019.

Autonomous vehicle development reached a milestone in 2021 as most automakers entered the market. The Covid-19 crisis has led to a drop in investment, which is slowing down the development of a fully self-driving car. Thanks to cumbersome production and testing, they have realized that the focus should be more on electricity and the harmonization of cars, so they get their money's worth in less time. This year, several automakers - Daimler, Ford, Honda, Toyota, and Xpeng - will also launch a Tier 3 model. This is a huge step, as it will already be equipped with features that do not require constant human intervention. Autonomous vehicles are projected to hold only 1.9% of the market in North America, 1.6% in Western Europe, and more than 3% in China and North Korea (Williams, 2021).

2.2 Domestic development activities of companies

28% of industrial production is linked to autonomous vehicle development, which is being helped by 170,000 employees. The Hungarian autonomous industry can be a great opportunity for international investors due to its continuous development. In 2019, several German and British companies, such as Continental, Thyssenkrupp, and Jaguar Land Rover, also saw an opportunity for new research and development in Hungary. According to the Autonomous Vehicles Readiness Index (AVRI), Hungary and Singapore have the best ratings for research into automated vehicle technologies. Although Hungary is in the best category in terms of infrastructure, it is in the worst category in terms of consumer acceptance. Consumer acceptance is an interesting pillar of research, as without it there will be no market for automatic cars. This category is led by countries with high ICT acceptance and digital skills, such as Switzerland, the United States, Finland, and South Korea (Csécsei, 2020).

The Bosch team is supported by more than 2,000 Hungarian engineers who research and test the innovations. It is believed that fully automatic vehicles, without a driver, will not be present in transport as a private car, but will be able to be used as a service, for example in car-sharing, public transport, taxi and other services (Pintér, 2017).

The role of individual ownership is likely to be pushed into the background by the spread of self-driving cars, as there are likely to be fewer privately owned cars and transport will be transformed into a kind of service. E-Carsharing service providers have already appeared in Budapest, such as GreenGo, Mol Limo, and DriveNow. Several independent companies are also involved in the research: Google Waymo, Tesla Motors, Nissan, Toyota, Volkswagen / Audi, Mercedes Benz, Citroën, Renault, Porsche and Bosch (Mester, 2019).

The German component manufacturer Continental has chosen Budapest as suitable for the progress of research and development. It already has seven factories in Hungary but is setting up another research and development center for automatic vehicles in the capital. This unit will employ 100 software and hardware experts (HIPA, 2019).

Thyssenkrupp is developing an innovative automatic vehicle steering system in Budapest, Knorr-Bremse is well on its way to developing self-driving trucks, and the British Jaguar Land Rover has also opened an engineering office in the capital in 2019 (Csécsei, 2020). In total, 40 of the top 100 OEMs are among Hungary's suppliers, so the Hungarian autonomous industry already has more than 700 suppliers. The goal is to shift the industry from what is produced here to what is developed here (Lipovecz, 2019).

Almotive is a Hungarian startup company with offices worldwide, for example in Japan and California. The biggest developments are being carried out in Budapest with the help of 140 highly qualified engineers. This is the largest independent team involved in self-management technology (Tóth, 2018).

Testing of new developments is essential for safety reasons, which is provided by ZalaZone Kft. A suitable environment has been created for testing future vehicles and communication technologies, which is also suitable for series-produced vehicles and prototypes. The 265-hectare area has all kinds of road surfaces that you can encounter while driving. The track also has dynamic, highway and country roads, slopes, wet and poor quality paved parts. Thanks to the cooperation of Magyar Telekom, a 5G test station has been set up, which has improved the response time of the network and can connect millions of devices to one unit (Madarász & Szikora, 2019).

2.3. Scientific and non-profit research centers

In addition to their suppliers, such as Bosch, Continental, Knorr-Bremse, or ThyssenKrupp, many independent Hungarian institutions are also active in the industry. With the establishment of the Research Center for Autonomous Road Vehicles (RECAR), the country can provide an internationally outstanding research and education. This comprehensive organization has been promoting high-quality developments since 2016. Its founding members include the Budapest University of Technology and Economics, the Research Institute of Computer Science and Automation of the Hungarian Academy of Sciences, and the Eötvös Loránd University (recar.bme.hu, 2021). The research areas cultivated by MTA SZTAKI are harmonized with most of the great challenges facing the world. IT can be one of the driving forces in responding to challenges; areas of research, development, innovation (R & D & I) highlighted by the institute, such as mechatronic research related to the automotive industry (electric vehicle and vehicle control) or automation and IT problems of conventional and renewable energy sources, are directly related to the challenges. Technological developments in the automotive and transport industries have typically been structured by road and air transport tools and systems. The theory of cooperative systems, integrated methods of vehicle control system design, modern network communication procedures, fault-tolerant designs of vehicle onboard control systems, and driving support systems play a significant role (sztaki.hu, 2021). The BME Automated Drive Lab aims to carry out cutting-edge R&D activities in the spectrum of automated and autonomous road vehicles. As an academic research group, it is their interest to combine academic and industrial competencies. In addition to basic research, the laboratory also conducts applied research, meaning that truly automated vehicles and functions are continuously developed for authentic demonstrations. In the future, they want to develop more features to create a safe, autonomous vehicle. (<https://www.automateddrive.bme.hu/about>, 2021)

Over the years, several universities have joined RECAR, and companies are also supporting their work. It is essential to have well-equipped laboratories to carry out education and research. Partners defined a five-tier structure for testing and validation, consisting of the following levels: simulation, laboratory testing, confirmatory ground testing, limited road testing, and road testing. Research topics are identified based on current trends and partner suggestions. The research topics also reflect the EU's recent Gear 2030 body activities that aim to formulate a harmonized and competitive European vision for the 'Connected Car and Automated Driving'. Within the framework of the collaboration, seven main research groups were formed:

Development of a demonstration platform for autonomous vehicles, vehicle control, communication systems within and between vehicles, environmental perception, intelligent transport systems, vehicle-human interaction, and autonomous vehicle testing and validation (Szalay et al., 2017).

Besides the capital, Győr also has a significant role in research, as Széchenyi István University is one of the Hungarian strongholds of research on autonomous transport systems and self-driving vehicles through the institution's Automotive Research Center. Széchenyi István University was organized around research in the automotive industry and transport systems, in which regional scientific research also appeared (Rechnitzer, 2014). The developments will further strengthen the renowned engineering education of the University of Győr, as several programs, such as testing and exciting experiments, are organized at ZalaZone for current and future students. It is also one of the bases for the Arrabona Racing Team, SZEnergy Team, and SZEngine student teams. The university has concluded an agreement with the Research Institute of Computer Science and Automation (SZTAKI) and the Secretariat of the Eötvös Loránd Research Network, based on SZTAKI, Széchenyi István University, and Audi Hungaria Zrt cooperation. Other important program elements of the agreement include support for cooperative industrial Ph.D. research and the supply of young researchers to engage talented young people in academia (Hancz, 2020).

3. Methodology

Our goal is to analyze the financial data of the companies engaged in the development of autonomous vehicles in Hungary and to create a situation picture depending on the changes in the various data. Due to the small number of development companies, it is difficult to find companies operating in this field, and we have found this area interesting due to the constantly renewing technologies. The subjects of the sample were selected based on the following TEÁOR codes: 6201: Computer programming, 6202: Information technology consultancy, 6209: Other information technology services, 7219: Other research and experimental development on natural sciences and engineering. We assume that these companies deal with autonomous vehicles, as these codes indicate their main activity. The data of the companies were filtered using the Opten and CrefoPort databases. The sample we analyzed includes 30 companies that are active in Hungary and they were established in 2019. Of these, 6 companies deal with the development of self-driving cars, while the other automotive companies are only involved at some level. As for filtering conditions, the minimum number of employees is 10 and the subscribed capital is HUF 3,000,000 are present.

With the help of the diagrams made during the analysis, we compared the development of the companies' results, asset and liability categories based on their latest reports. First, the structure of the balance sheet and then the elements of the income statement were reviewed by report groups. In our calculations, we seek proof of our hypothesis that the number of employees is related to the location of the companies. Furthermore, we conclude from the various financial data available.

4. Results

| Company name | TEÁOR | Activity |
|---|-------|---|
| Almotive Informatikai Kft. | 7219 | Automated driving technology providers |
| ARM Szolgáltató Kft. | 7219 | Infotainment systems, applications, autonomous driving |
| Autóipari próbabálya Zala Kft. | 7219 | Vehicle dynamics tests, autonomous vehicles |
| Commsignia Kft. | 6202 | Vehicle-To-Vehicle (V2V) and Vehicle-To-Infrastructure (V2I) communication technologies |
| Furukawa Electric Technológiai Intézet Kft | 7219 | Developing various products for automotive applications |
| Invigor Informatikai Kft. | 7219 | Hardver és software support |
| evopro Innovation Kft. | 6201 | Vehicle diagnostic development services, software module development and integration |
| evopro systems engineering Kft. | 6201 | Vehicle diagnostic development services, system design, software module, development and integration |
| evosoft számítástechnikai Kft. | 6201 | Industrial automation technology, drive technology, electric automation in the field of energy automation |
| DXC Technology Kft. | 6202 | Automotive smart connected manufacturing |
| GriffSoft Informatikai Zrt. | 6202 | Software development |
| Középpont Stúdió Kft. | 6202 | The Automotive industry involves the manufacturing of bodies, engines, parts and whole vehicles for ground transportation |
| Verzion Smart Communities Kft. | 6202 | Smart City (Intelligent Traffic Management etc.) |
| ALBACOMP Services Kft. | 6209 | software development, public procurement, electronics manufacturing, and automotive R&D projects |
| Enterprise Communications Kft. | 6209 | IT and info-communication services |
| graphIT Kft. | 6209 | CAD/CAM/CAE és PLM szoftverek fejlesztése |
| NEXOGEN Informatikai Fejlesztő, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. | 6209 | Mathematical optimization, designing decision support systems, road transport processes |
| Appaloosa Communication Group Kft. | 7219 | Vehicle construction, software development |
| BME ITS Közlekedési- és Járműrendszerek Zrt. | 7219 | Railway vehicle, railway energy supply, railway safety equipment |
| DEÁK DELTA Kft. | 7219 | Electronics and mechanical engineering development |
| EBK-Hungary Kft. | 7219 | 3d printing, teaching used technologies |
| ELECTROMEGA Kft. | 7219 | Development of electric drive chains |
| ELMAFLEX Műszaki Fejlesztési és Automatizálási Kft. | 7219 | Industrial robots, robot arms for automotive suppliers (also) |
| EURONET Informatikai Zrt. | 7219 | Providing comprehensive solutions in IT, engineering |
| Formel D Műszaki Fejlesztő Kft. | 7219 | Automotive quality control, testing, after-sales service |
| GAMMA-DIGITAL Kft. | 7219 | JIS, JIT server systems for OEM, Tier 1, Tier 2 suppliers |
| HC LINEAR Műszaki Fejlesztő Kft. | 7219 | Public transport IT solutions |
| HEPENIX Műszaki Szolgáltató Kft. | 7219 | Software engineering calculations, product development and R+D, robotics and industry 4.0 solutions. |
| KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft | 7219 | Public transport development |
| ProDSP Technologies Mérnökiroda, Fejlesztő és Gyártó Zártkörűen Működő Részvénytársaság | 7219 | The company delivers turn-key solutions for engineers in the automotive and industrial electronics field. |

Table 1: Summary company list

The companies marked in blue are engaged in the development of self-driving vehicles, while the other automotive companies have R&D activities as only the part of their activities.

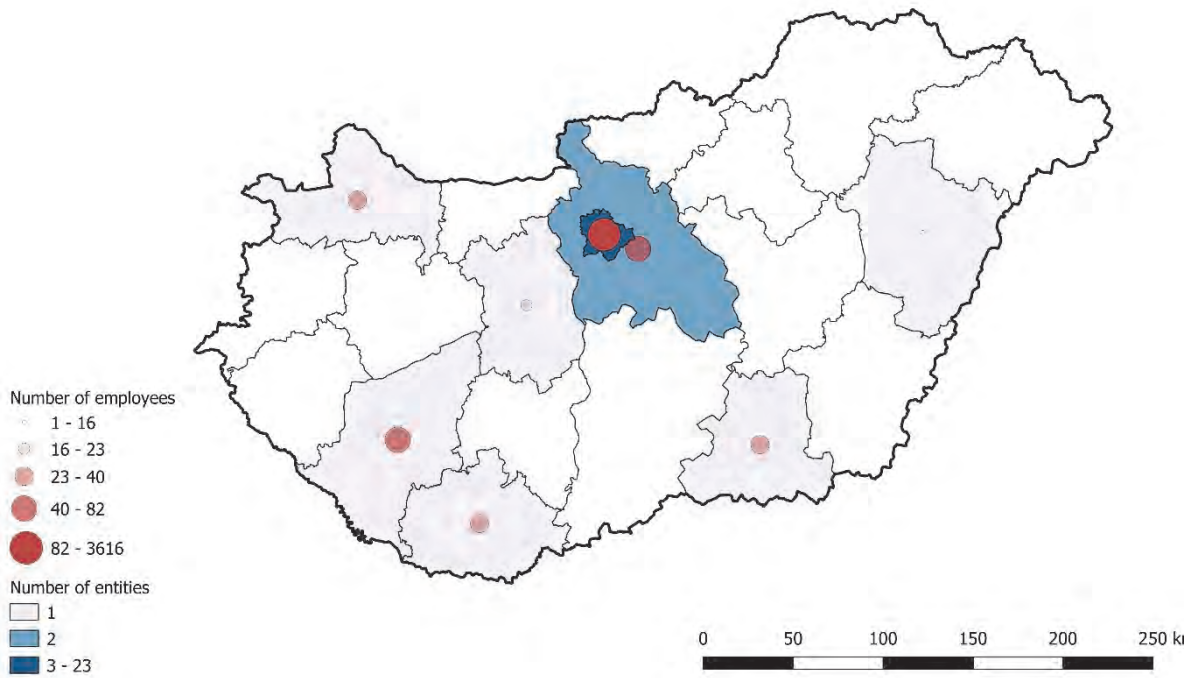


Figure 1: Distribution of companies by county

The figure above shows the number of companies as well as the distribution of employees by county. Most of the companies are located in Pest county, especially in the capital. More than 3,000 people are employed in this region. Only eight companies are located in any other part of the country, which mainly affects Transdanubia. Reading the list of companies, it can be noticed that the Zalaegerszeg test track is not marked in Zala county. This is due to a distorting factor as the company is headquartered in Budapest. Unfortunately, some firms are established in other cities, then where they are located today.

4.1 Financial analysis

4.1.1. Development of asset categories (2015-2019)

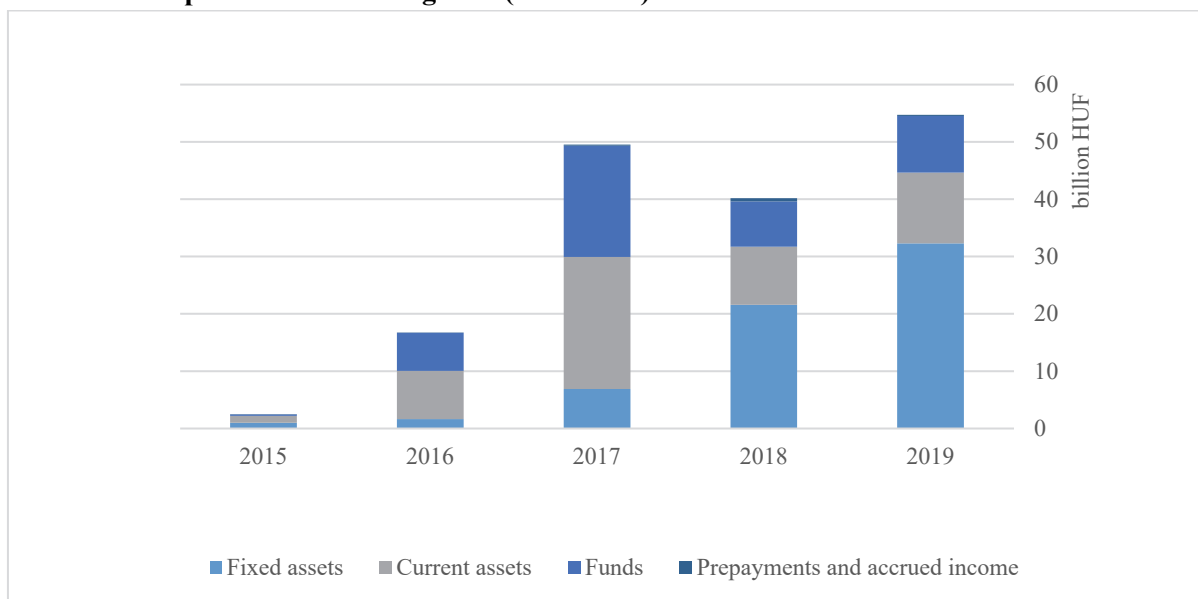


Figure 2: Asset structure - Autonomous vehicle developer companies

The first diagram shows the asset composition of companies engaged in the development of self-driving vehicles during the study period. The proportion of fixed assets has been growing continuously over the years, eventually reaching HUF 30 billion. The ratio of current assets increased overall but was the highest in 2017 when it exceeded HUF 23 million. The ratio of funds almost reached HUF 10 billion by 2019, but its rate was also the highest in 2017 with a value of HUF 19.5 billion. The ratio of accruals and deferrals fluctuated over the years, but is not significant compared to the other categories, as the highest amount was only around HUF 200 million.

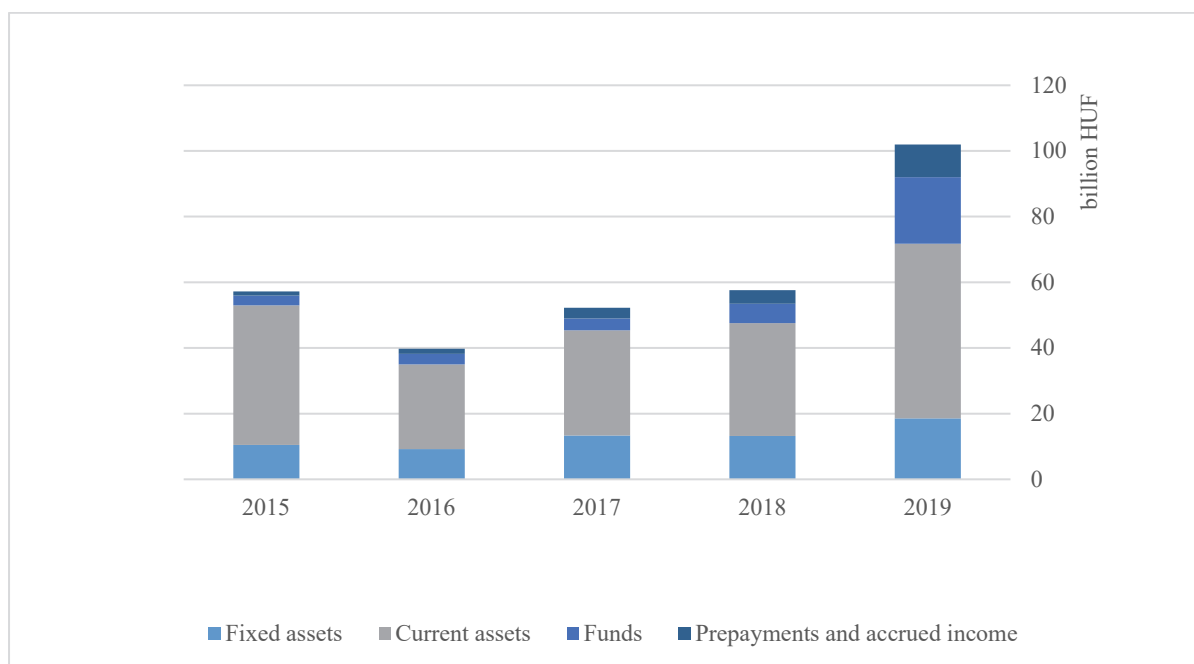


Figure 3: Asset structure – Automotive R&D companies

The asset structure of other automotive R&D companies is shown in the second chart, where the values are much higher than those for developer companies. It can be observed that the amount of current assets is about twice as large as that of fixed assets, which showed the biggest difference by 2019. At that time, the ratio of both indicators was the highest. The value of fixed assets reached HUF 18 billion and the value of net current assets also reached HUF 53 billion. The value of funds has increased significantly over the years, as HUF 3 billion in 2015 increased to HUF 20 billion in the last year.

4.1.2. Development of equity and liabilities (2015-2019)

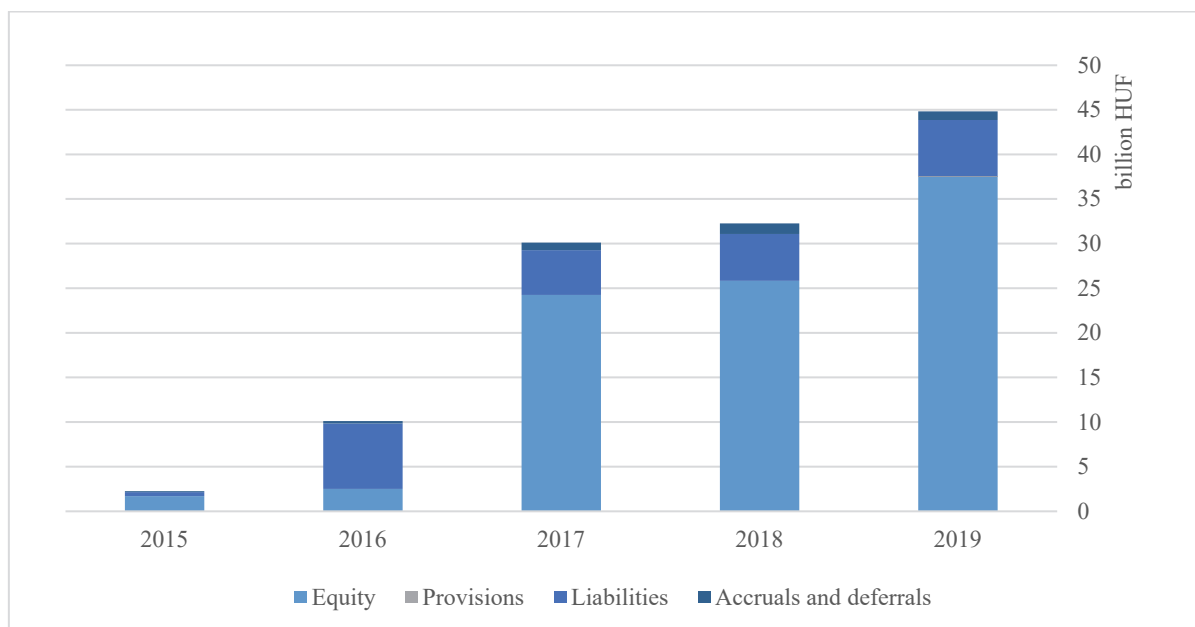


Figure 4: Source structure – Autonomous vehicle developer companies

The composition of sources can be observed in the fourth figure, where it is clear that the value of equity has been significant in recent years. With its continuous growth, it reached HUF 37 billion by 2019. In comparison, the value of the other categories are not significant. Provisions appeared only in the last year, amounting to approximately HUF 50 million, which is owned by only one company. There is no significant change in the ratio of liabilities, except for 2015. It was around 400 million in the first year, but later fluctuated around 5-6 billion. The proportion of accruals and deferrals increased during the period under review. The initial value increased from HUF 110 million to almost HUF 1 billion by 2019.

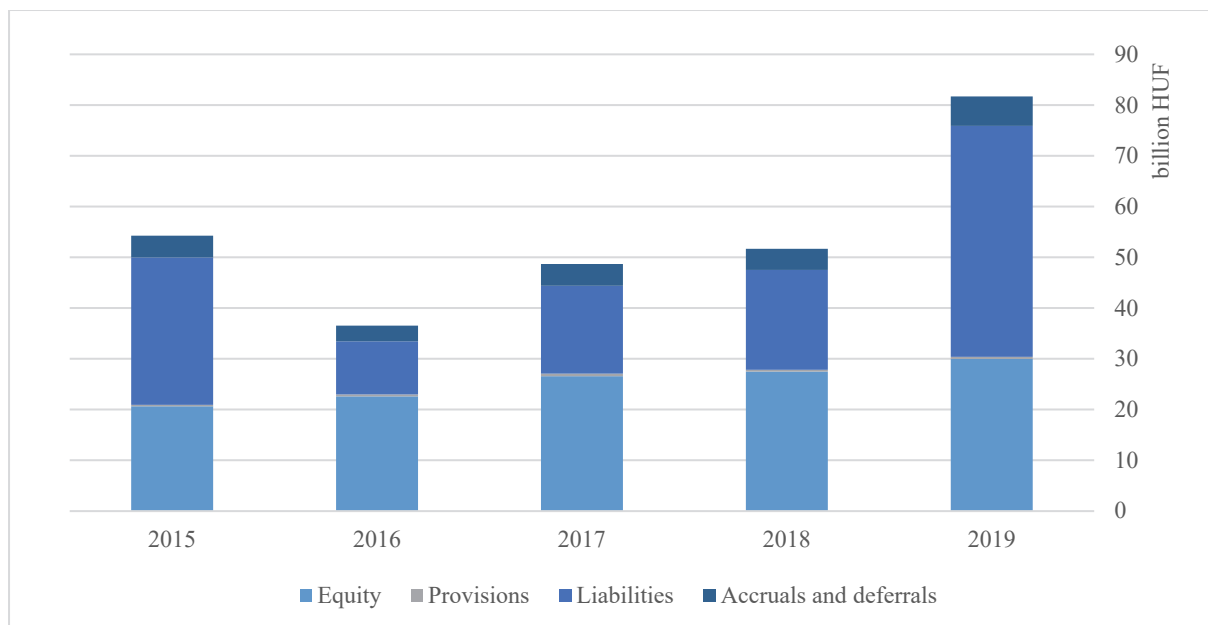


Figure 5: Source structure – Automotive R&D companies

For other R&D-performing automotive companies, as with the asset structure, the values are much higher. The value of equity did not change significantly during the period under review, hovering around HUF 20-30 billion. The value of provisions is not significant in any of the years, the highest value is almost half a billion forints in 2017. In both the initial and final years, the value of liabilities exceeds equity. It had the highest proportion in 2019 when it exceeded HUF 45 billion. The value of accrued expenses also increased to almost HUF 6 billion.

4.1.3. Eredmény alakulása (2015-2019)

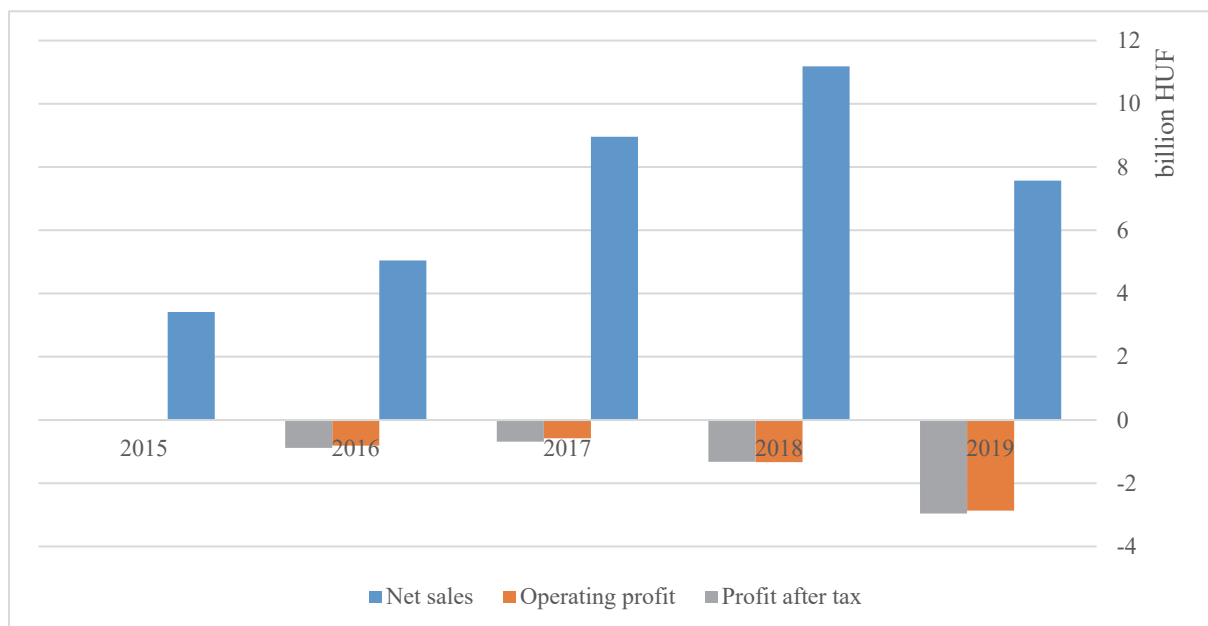


Figure 6: Profit development – Autonomous vehicle developer companies

The development of the results was examined in terms of net sales revenue, operating profit, and profit after tax. The development of net sales revenue was favorable due to the continuous

growth, so by 2018, it reached HUF 11 billion. In the last year, a slight decline has been observed, as its value has fallen below 8 billion. The value of operating and after-tax profits changed negatively after 2015. The value of the two profit factors is almost the same every year, and by 2019 they almost reached HUF -3 billion.

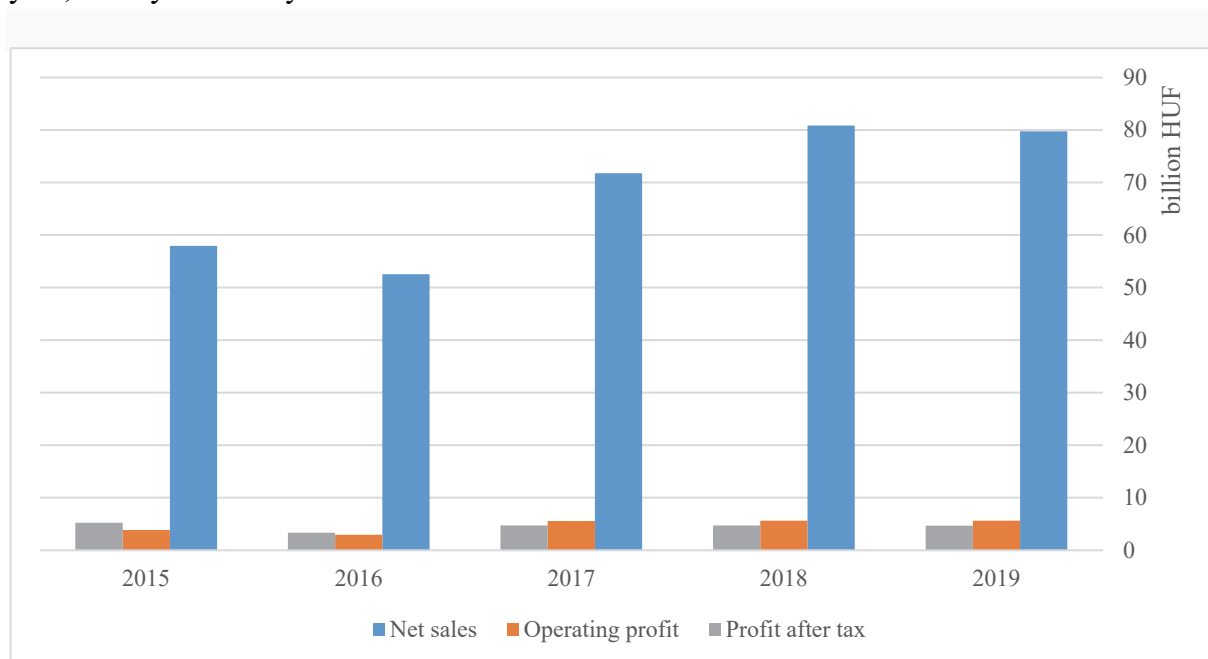


Figure 7: Profit development – Automotive R&D companies

The seventh figure shows the development of the results of automotive R&D companies, which is strikingly not similar to the previous chart. The development of the values is favorable, so all of them are in the positive range. The development of net sales fluctuates slightly over the years, but in the last two years, they reach HUF 80 billion. The value of operating profit is rising almost continuously to HUF 5.5 billion. Profit after tax fluctuates slightly but shows a declining trend. The value of around HUF 5 billion seen in 2015 decreases to approximately HUF 4.5 billion. Overall, it can be observed that in 2016, all values decreased minimally.

5. Conclusions

In the course of our analysis, we examined in parallel the companies engaged in autonomous vehicle development and other automotive companies that carry out R&D activities. As a result, the financial data of the two groups can be compared. The values of companies engaged in R&D in the automotive industry are almost twice as high as those of developer companies, which is because we found fewer developer companies in Hungary. It is not easy to identify the companies involved, as they operate under differently classified TEÁOR codes. Furthermore, identification of manufacturers engaged in development activities is not easy either, as we cannot determine their sub-activities based on their annual accounts. In the course of the analysis, we observed that in the case of developer companies, the result is in the negative range, which is due to the fact that they do not have a significant profit. They don't have finished products yet. They have already managed to reach a few levels in self-driving vehicle development, but improvements are still underway. The capital requirements of the developments, which are financed from investments, are high, so we have seen that their range of equity is high. It is important to mention that in the aggregate data, we need to consider which

company makes up the majority of the values. If we follow the development of the company, that has the largest share, we can see the development of the market.

6. Acknowledgment

The research presented in this paper was carried out as part of the “Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

7. References

1. Bertonecello, M., & Wee, D. (2015). Ten ways autonomous driving could redefine the automotive world. McKinsey & Company, 6.
2. Csécsei Nóra. (2020, August 26). Hungary to become a key country in autonomous vehicle development. Dailynewshungary.Com. <https://dailynewshungary.com/hungary-to-become-a-key-country-in-autonomous-vehicle-development/>
3. Evangelos Simoudis. (2019, February 14). Requirements for Growing and Scaling Autonomous Mobility. Corporate-Innovation.Co. <https://corporate-innovation.co/2019/02/14/six-requirements-for-growing-and-scaling-autonomous-mobility/>
4. Forrest, A., & Konca, M. (2007). Autonomous cars and society. Worcester Polytechnic Institute.
5. Gyula, M. 2019. Overview of the development of self-driving cars.
6. Hancz Gábor. (2020, October 3). CARS OF THE FUTURE ARE DEVELOPED BY ISTVÁN SZÉCHENYI UNIVERSITY AT ZALAZONE Jkk.Sze.Hu. <https://jkk.sze.hu/hirek/a-jovo-autoit-fejleszti-a-szechenyi-istvan-egyetem-a-zalazone-on>
7. Hermann, M., Pentek, T. and Otto, B. 2015. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Working Paper. 1. Dortmund, Technische Universität. Available at https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review
8. HIPA (2019) Continental develops driverless car technology from new budapest office - video report [on-line], Available: <https://hipa.hu/continental-develops-driverless-car-technology-fromnew-budapest-office> [Downloaded: 2019.04.15.]
9. Holland-Letz, D., Kloss, B., Kässer, M., & Müller, T. (2019). Start me up: Where mobility investments are going. McKinsey & Company, retrieved on 10th March
10. <http://recar.bme.hu/eng/> [Downloaded: 2021.05.18.]
11. Julia Lipovecz. (2019, April 15). SELF-DRIVING CARS AND INCREASING E-MOBILITY IN HUNGARY. S-Ge.Com. <https://www.s-ge.com/en/article/global-opportunities/20191-c6-hungary-automotive-potential>
12. Laboratory introduction. (2021). Bme.Hu. <https://www.automateddrive.bme.hu/about>

13. Lara Williams. (2021, March 11). Have the wheels come off investment in autonomous vehicles? Investmentmonitor.Ai. <https://investmentmonitor.ai/automotive/have-the-wheels-come-off-investment-in-autonomous-vehicles>
14. Madarász, N., & Szikora, P. (2019). Hungary's role in developing autonomous cars. *Management, Enterprise and Benchmarking in the 21st Century*, 85-92.
15. Molnár, E., Kozma, G., Mészáros, M., & Kiss, É. (2020). Upgrading and the geography of the Hungarian automotive industry in the context of the fourth industrial revolution. *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(2), 137-155.
16. Nick, G. A., Várgedő, T., Nagy, C., & Szaller, Á. (2019). The territorial contexts of industry 4.0 in Hungary, the present and future challenges and expectations of the digital ecosystem. *DEUROPE: CENTRAL EUROPEAN JOURNAL OF TOURISM AND REGIONAL DEVELOPMENT*, 11(3), 29-58.
17. Pardavi Mariann. (2019, January 8). Self-driving vehicle development in Hungary? Autopro.Hu. <https://autopro.hu/trend/onvezeto-jarmufejlesztes-magyarorszagon-igen-ven/209195>
18. Pintér, M. (2017) Hungarian engineers are developing future self-driving cars [on-line], Available: <https://24.hu/tech/2017/11/12/magyar-mernokokfejlesztik-a-jovo-onjaro-autoit/> [Downloaded: 2019.04.16.]
19. Rechnitzer, J. (2014). Research programme on the Vehicle Industrial District in Győr. *Tér és Társadalom*, 28(2), 3-10.
20. Research results. (2021). Sztaki.Hu. <https://www.sztaki.hu/tudomany/eredmenyek>
21. SMAHÓ, J. R. M. ECONOMIC EFFECTS OF THE VEHICLE AND AUTOMOTIVE INDUSTRY IN THE REGIONS OF CENTRAL AND EASTERN EUROPE AND HUNGARY. *Vehicle Industry and Competitiveness of Regions in Central and Eastern Europe*, 7.
22. Sz.K. (2018, January 24). We help you adjust: these are the levels of self-driving. Autopro.Hu. <https://autopro.hu/trend/segitunk-kiigazodni-ezek-az-onvezetes-szintjei/192660>
23. Szalay, Z., Esztergár-Kiss, D., Tettamanti, T., Gáspár, P., & Varga, I. (2017). RECAR: hungarian research centre for autonomous road vehicles is on the way. *ERCIM News* (109), 27-29.
24. Theoto, T. N., & Kaminski, P. C. (2020). A country-specific evaluation on the feasibility of autonomous vehicles. *Product: Management and Development*, 17(2), 123-133.
25. Tóth, B., (2018) Hungarian hub drives the cars of the future [on-line], Available: https://index.hu/techtud/2018/12/22/magyar_onvezeto_ai_kerul_par_erven_belul_az_autokba/ [Downloaded: 2019.04.15.]

Az amerikai tőzsdék vezető autóipari vállalatainak részvényértékelése a világjárvány idején: Túlértékeltek vagy alulértékeltek?

US stock exchanges' top automotive industry companies' share valuation during the pandemic: Are they over-or undervalued?

Balázs Gönczy^a,

^a Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

gonczy.balazs@ga.sze.hu

Absztrakt: A Covid-19 pandémia komoly sokkért érte 2020 elején az autóipart, aminek következtében az értékesítéseik komoly visszaesést szenvedtek. Ez joggal vetheti fel a kérdést, hogy vajon a jelenlegi részvényárai és a pénzügyi fundamentumaik összhangban vannak-e? Vajon túlértékeltek vagy alulértékeltek ezek a cégek? A korlátos erőforrások miatt kiválasztásra kerültek az amerikai tőzsdén jegyzett autóipari vállalatok közül a TOP 11 (későbbiekben 7) OEM (eredeti alkatrész gyártók). Az esetükben fogunk cégértékelést végezni, ahol is a vállalatok belső értékét fogjuk leosztani a részvényeikre majd ezt a jelenlegi áraikkal, fogjuk összehasonlítani. Ezt követően levonhatjuk majd a konklúziót, hogy vajon az iparág éllovasainak a helyzete milyen a piacon. Természetesen majd láthatjuk, hogy egy általános következtetést nem fogunk majd hozni, viszont a jelen elemzés következtében pontosabb képet kaphatunk majd a fent említett cégek helyzetéről.

Kulcsszavak: Covid-19, autonóm ipar, vezető amerikai tőzsdén jegyzett társaságok, cégértékelés

Abstract: The Covid-19 pandemic hit the automotive industry hard in early 2020, resulting in a severe drop in their sales. This may rightly raise the question of whether their current share prices and financial fundamentals are in line. Are these companies overvalued or undervalued? Due to limited resources, the TOP 11 (later 7) OEMs (original equipment manufacturers) were selected from the US-listed automotive companies. In their case, we will perform a company valuation, where we will allocate the intrinsic value of the companies to their shares and then compare this with their current prices. We will then be able to conclude on what the position of the industry leaders is in the market. Of course, we will see that we will not be able to come to a general conclusion, but as a result of the present analysis, we will be able to get a more accurate picture of the situation of the above-mentioned companies.

Keywords: Covid-19, automotive industry, top US-listed companies, firm valuation

1. Introduction

The main aim of this study originates from the basic logic of crises, which is that in case of market shocks the prices of the company shares should drop. This was the case last year in 2020 when the main indices like S&P500 dropped. After that, the FED and the USA’s government has been providing loose monetary policy for the US economy to boost the falling trends and keep them going up (Fred I., Maggie F., 2020). Most of the world’s countries followed this kind of policy in 2020 (Policy Responses to COVID19., 2021). This led to the postponement of a huge debt crisis. This caused the world countries' average debt to GDP ratio to surge from 79% in 2019 to 113% in 2020. Just for a quick comparison, it was around 61% in 2008 (OECD., 2021) (Lu, M., 2020). So this leads us to the hunch that something might be odd with the market. This kind of policy can lead to the surge of the so-called Zombie companies, who could not survive without the capital market’s continuous support because they can not even realize their interest expenses as operating income (Sonenshine, J., 2020).

So after all of this, we might think that it is worth checking the share prices to their true values to estimate the differences. The above-mentioned things are true to the automotive industry as well, which suffered a -35% fall in revenues due to the pandemic (Statista: Passenger Cars, 2020). So this study focuses on the comparison of the US-listed TOP 11 (in fact just 7) automotive OEMs’ (original equipment manufacturer) share price and fundamental value comparison. Different firm valuation methods are going to be presented like DFCF (discounted free-cash-flow), DDM (dividend discount model), liquidation value model. The following companies were chosen for evaluation between 2015-2020: Tesla Inc., Toyota Motor Corporation, General Motors Company, Honda Motor Co. Ltd., Ferrari N.V., Ford Motor Company, Tata Motors Limited.

| Symbol | Market Cap (USD) | Country | IPO Year | Volume | Sector | Industry |
|--------|------------------|---------------|----------|----------|---------------|--------------------|
| TSLA | 710 080 425 189 | United States | 2010 | 27923637 | Capital Goods | Auto Manufacturing |
| TM | 220 279 652 820 | Japan | 1999 | 162703 | Capital Goods | Auto Manufacturing |
| GM | 84 595 991 662 | United States | 2010 | 11083101 | Capital Goods | Auto Manufacturing |
| HMC | 52 955 122 137 | Japan | 1962 | 573948 | Capital Goods | Auto Manufacturing |
| RACE | 52 627 532 536 | Italy | 2015 | 198728 | Capital Goods | Auto Manufacturing |
| F | 48 812 357 643 | United States | 1956 | 33039300 | Capital Goods | Auto Manufacturing |
| TTM | 15 705 781 327 | India | 2000 | 912598 | Capital Goods | Auto Manufacturing |

1. **figure:** US-listed Top 7 OEM selected by market capitalization (NASDAQ: Stock Screener., 2021)

Other companies like NIO Inc., PACCAR Inc., XPeng Inc., Li Auto Inc. had to be omitted from the analysis due to comparability issues like not having substantial years of data.

Following the estimation and the comparison of the prices to the values, one of the most over-valued companies (TESLA) is going to be investigated. The possible cause of the difference between the share price and its value is going to be revealed.

2. Methodology

The analysis of the current study could have been automated if necessary R or Python workflows would have existed. A research was conducted before the stock valuation analysis for automatization of its process, but later manual data processing was chosen due to workflow limitations. So excel files were retrieved by hand from the SEC EDGAR database.

First, the biggest US-listed automotive OEMs have to be identified. For this purpose NASDAQ screeners were applied for the identification of these companies on the biggest US stock exchanges like (NASDAQ, NYSE, AMEX). Secondly, the top 11 chosen companies' standard financial statements (10-K, 20-F) have to be downloaded between 2015 and 2020. Thirdly the algorithms of the three applied valuation methods have to be programmed in Excel (DFCF, DDM, liquidation value). DFCF is a cash-flow-oriented method that tries to discount the periods' values with a WACC number (weighted average cost of capital), which incorporates the cost of both equity and debts. This method also applies perpetual annuity for the future valuation of the selected company (MCKINSEY, 2020). The DDM method is a dividend-focused one, which divides the valuation periods into a starting and an eternal one (BREALEY & MYERS., 2019). The liquidation technique is an easier one, which can be calculated from assets after extracting the liabilities from them (MCKINSEY, 2020). After the creation of a standard analysis file, the uploading of the financial data could start. Fourthly, the three different model's votes on over-/ undervaluation can be collected.

A few additional notices should be discussed before the results section. The current exchange rates (prices of shares) were retrieved from Yahoo Finance. The evaluation date of the shares is 2021.04.27. Also in the case of unrealistic WACC and Growth rate numbers, average values or market level ones were applied to fine-tune the value estimations. This way the extreme values could have been countered.

3. Results

Following the estimations of the three applied models (DFCF, DDM, liquidation model), the analysis of the difference between the share prices and their fundamental values could be conducted. In most of the cases, the methodologies worked fine. Tesla and Ferrari were only a little problematic. Tesla hasn't paid dividends yet, and also most of the years during the analyzed period, realized losses. While Ferrari left FCA (Fiat Chrysler Automobiles) group and started operating as a standalone company in 2015. This caused a huge negative temporary equity value in the balance sheet of the company (Brent S., 2015). So as we can see in the second figure the other companies (Toyota, General Motors, Honda, Ford, Tata) could have been evaluated with great precision.

Toyota and Honda were undervalued by the market due to mostly high fundamental values, while the other companies were mostly overvalued. There are a few discrepancies like Ford's high DDM value due to the double-digit final WACC, Growth rate values, and the high initial dividend values which diminished later.



2. **figure:** TOP 7 selected companies share price and value comparison

Because of the strong overvaluation in some cases, we should discover the calculated P/E ratios of the companies. This calculation was also part of the DDM model. In the third figure, we are going to see the current (period starting) and the forward (estimated future) P/E ratios of each company. This ratio tries to compare the overvaluation of companies by contrasting the share price to their earnings. As we can see in the case of Tesla (no paid dividend) this basic estimation can not work either.

In the case of Toyota, Ferrari and Ford these values indicate that these companies price to earnings ratios are quite high, which might indicate overvaluation. Of course, we shouldn't forget that in the case of Toyota it might not be the case (check figure 2.). This might have been caused by the high dividend numbers that the company paid to its shareholders, which inflated the value estimation as well. In the case of Tata, the low numbers might be the results of the low dividends that caused a lower share value as well.

| Company code's | DDM's calculated current P/E ratio | DDM's calculated forward P/E ratio |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| TSLA | 0 | 0 |
| TM | 17,20 | 15,76 |
| GM | 6,09 | 5,17 |
| HMC | 3,69 | 3,51 |
| RACE | 46,74 | 32,91 |
| F | 13,07 | 11,47 |
| TTM | 0,68 | 0,56 |

3. **figure:** TOP 7 selected companies P/E ratios

As a result of the above analysis, we can say that two of the above companies were mostly undervalued while the other five were mostly overvalued. You can see the categorization of the above companies on the fourth figure. The categorization was based on the votes of the three valuation models (DFCF, DDM, liquidation model).

| Firms share price vs. FA value | TSLA | TM | GM | HMC | RACE | F | TTM | SUM | PERCENTAGE |
|--------------------------------|------|----|----|-----|------|---|-----|-----|------------|
| Overvalued | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 5 | 71% |
| Undervalued | | 1 | | 1 | | | | 2 | 29% |

4. **figure:** TOP 7 selected companies categorization

After the valuation, the discussion of the results is going to be presented about the overvalued technology firms, especially concerning Tesla.

4. Discussion and conclusion

The key takeaways of the current study are that the top automotive OEM companies with Japanese origins are undervalued on the US stock exchanges. While the other companies are overvalued. This is where we come to the most overvalued company, which is Tesla. The general conclusion is tech companies, which are also growth ones (at least expected to be) can not be gauged by fundamental methodologies (Investopedia., 2021, a); (Investopedia., 2020, a); (Investopedia., 2020, c). The company hasn't paid a dividend and also realized in its most previous years negative earnings. These indicate that other methodologies are needed for valuation, which has different inputs.

Also, we should mention that we are living in the era of the „retail traders” who use mostly automated broker platforms (U., 2020) Investopedia. (2020, b). The internet's infrastructure allowed them to apply these techniques. As a consequence, it is estimated that about 80 percent of the stock market's trades are automated (Li, Y., 2019). This might arise other questions like what happens if these algorithms go wild? It might lead to events like the 2010 „flash crash” when the Dow Jones index was down 600 points and went back again within a few minutes (Harford, B. T., 2012). So this leads us to other analysis techniques like the sentiments and the technical analysis, which bases their tool on human psychological patterns like reacting to bad and good news, favoring round numbers and certain graph patterns, etc (Investopedia., 2021, b) (Investopedia., 2021, c).

So what might justify the price of Tesla? Retail traders are voting with their money on the visions and image that Elon Musk provides. Also, it is proven that electric vehicles impose less environmental burden if we consider their life-cycle than traditional combustion-engine-based cars (Onat, N., Kucukvar, M., & Tatari, O., 2014). Furthermore, the inflated expectations of the future new technologies are considered by them, like autonomous vehicles, better-charging infrastructure, and fusion power (Panetta, K., 2020). So basically we can say that the market is trying to guess the future price of this growth company, which can not be valued by traditional methods like DFCF, DDM, etc., because of the losses it has been making currently (Investopedia., 2021, a) (Investopedia., 2020, a) (Investopedia., 2020, c). This might seem like blinded faith in the present moment, but who knows what might happen later. Will electric cars take revenge on the combustion engines after their defeat in the 20th century (Center, C. E. T., 2014); (Strohl, D., 2017)? At the current moment, it seems likely due to future policies of the EU and USA (2050 long-term strategy., 2017) (House, T. W., 2021).

5. Acknowledgement

The research presented in this paper was carried out as part of the “Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

References

- [1] 2050 Long-Term Strategy. (2017, February 16). Climate Action - European Commission. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en
- [2] Brealey & Myers: Brealey, R., Myers, S., & Allen, F. (2019). Principles Of Corporate Finance (13th Ed.). McGraw-Hill Education.
- [3] Brent S. (2015, December 31). Ferrari To Add Luxury Goods, More Theme Parks. Detroit Free Press. <https://eu.freep.com/story/money/cars/2015/12/31/ferrari-fca-chrysler-wall-street-ipo/78087740/>
- [4] Center, C. E. T. (2014). History Of Electric Cars. Edisontechcenter.Org. <https://edisontechcenter.org/electriccars.html>
- [5] Damodaran: Aswath Damodaran. (2014, August 25). Session 1: Introduction To Valuation. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=Znmq7omiqrm&list=Rdcmuclvnjl8htrr1t9cbsccaovw&start_radio=1&t=5
- [6] Fred I., Maggie F. (2020). Dow And S&P 500 Post Back-To-Back Losses, But Nasdaq Closes Above 10,000 For The First Time. <https://www.cnbc.com/2020/06/09/stock-market-futures-open-to-close-news.html>
- [7] Harford, B. T. (2012, August 11). High-Frequency Trading And The \$440m Mistake. Bbc News. <https://www.bbc.com/news/magazine-19214294>
- [8] House, T. W. (2021, April 22). Fact Sheet: President Biden Sets 2030 Greenhouse Gas Pollution Reduction Target Aimed At Creating Good-Paying Union Jobs And Securing

- U.S. Leadership On Clean Energy Technologies. The White House. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/22/fact-sheet-president-biden-sets-2030-greenhouse-gas-pollution-reduction-target-aimed-at-creating-good-paying-union-jobs-and-securing-u-s-leadership-on-clean-energy-technologies/>
- [9] Investopedia. (2020, A). Earnings Multiplier. <https://www.investopedia.com/terms/e/earningsmultiplier.asp>
- [10] Investopedia. (2020, B). Institutional Traders Vs. Retail Traders: What's The Difference?. <https://www.investopedia.com/articles/active-trading/030515/what-difference-between-institutional-traders-and-retail-traders.asp>
- [11] Investopedia. (2020, C). Value Or Growth Stocks: Which Is Better?. <https://www.investopedia.com/articles/professionals/072415/value-or-growth-stocks-which-best.asp>
- [12] Investopedia. (2021, A). Growth Stock. <https://www.investopedia.com/terms/g/growthstock.asp>
- [13] Investopedia. (2021, B). Sentiment Indicator Definition And Example. <https://www.investopedia.com/terms/s/sentimentindicator.asp>
- [14] Investopedia. (2021, C). Technical Analysis Definition. <https://www.investopedia.com/terms/t/technicalanalysis.asp>
- [15] Li, Y. (2019, June 29). 80% Of The Stock Market Is Now On Autopilot. Cnbc. <https://www.cnbc.com/2019/06/28/80percent-of-the-stock-market-is-now-on-autopilot.html>
- [16] Lu, M. (2020, October 30). Charting America's Debt: \$27 Trillion And Counting. Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/americas-debt-27-trillion-and-counting/>
- [17] Mckinsey: Mckinsey & Company Inc., Koller, T., Goedhart, M., & Wessels, D. (2020). Valuation: Measuring And Managing The Value Of Companies (Wiley Finance) (7th Ed.). Wiley.
- [18] Nasdaq: Stock Screener. (2021). Nasdaq. <https://www.nasdaq.com/market-activity/stocks/screener>
- [19] Oecd. (2021). General Government Debt (Indicator). Doi: 10.1787/A0528cc2-En (Accessed On 28 April 2021)
- [20] Onat, N., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2014). Towards Life Cycle Sustainability Assessment Of Alternative Passenger Vehicles. Sustainability, 6(12), 9305–9342. <https://doi.org/10.3390/Su6129305>
- [21] Panetta, K. (2020, December 3). 5 Trends Emerge In The Gartner Hype Cycle For Emerging Technologies, 2018 - Smarter With Gartner. Copyright (C) 2021 Gartner, Inc. All Rights Reserved. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>
- [22] Policy Responses To Covid19. (2021). Imf. <https://www.imf.org/en/topics/imf-and-covid19/policy-responses-to-covid-19>
- [23] Sec Edgar: Sec.Gov | Home. (2017, February 5). Sec. <https://www.sec.gov/>

- [24] Sonenshine, J. (2020, November 23). More Zombie Companies Have Cropped Up During The Pandemic. Barron's. <https://www.barrons.com/articles/more-zombie-companies-have-cropped-up-during-the-pandemic-51606132808>
- [25] Statista: Passenger Cars, (2020), Source: <https://www.statista.com/outlook/1000000/100/passenger-cars/worldwide>, Downloaded: 2020.09.15.
- [26] Strohl, D. (2017, June 4). Ford, Edison And The Cheap Ev That Almost Was. Wired. <https://www.wired.com/2010/06/henry-ford-thomas-edison-ev/>
- [27] U. (2020, November 27). Retail Traders Dominate The Market For Now. Upfina. <https://upfina.com/retail-traders-dominate-the-market-for-now/>
- [28] Yahoo Finance: Yahoo Is Now A Part Of Verizon Media. (2021). Yahoo Finance. <https://finance.yahoo.com/>

HD Map-ek használata önvezető járművek globális és lokális útvonal tervezéséhez

Use of HD Maps for local and global trajectory planning

Mesics Mátyás

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

mesics.matyas@ga.sze.hu

Absztrakt: Az önvezető járművek egyik nagy hátráltató pontja, hogy kevés információt tudnak a környezetükről és arról hogy, mi veszi körül őket, hagyományos térképek jellemzően alap információkat tárolnak a környezetről, ezek olyan információk amiknek útvonaltervezésre és navigációra elegendőek, viszont nagy pontosságú sáv információkat és olyan közlekedési elemeket, amelyek fontosak ahhoz, hogy az adott jármű képes legyen betartani minden közlekedési szabályt, és összességében elég információval rendelkezzen a környezetéről, amivel már képes megtervezni az útvonalát biztonságosan. A nagy felbontású térképek (HD Maps) ezt a feladatot a térkép információk pontosításával, és több forgalmi elem tárolásával kívánják megoldani. Az HD Map-ek olyan környezetben igazán hasznosak amikor a jármű szenzorainak jelentősen limitált a érzékelése, például egy zsúfolt városi környezetben, ilyenkor jól használhatóak az előre definiált HD Map-en tárolt információk. Jelenleg több olyan gyártó van aki jövőben szeretne az HD Map-ek egyik fő szolgáltatója lenni, a gyártók között megtalálható sok navigációs cég is, de vannak más gyártók is mint például az Nvidia akik más háttérrel rendelkeznek. Az HD Map-eknek nagy pontosságuk miatt költséges létrehozni azonban az ADAS (Advanced driver-assistance systems) térképek, költséghatékonyságuk miatt egy jó alternatívája az HD Map-eknek, az ilyen típusú térképek is hasonló mennyiségben tartalmaznak sávinformációkat és egyéb közlekedési elemeket, azonban a tárolt elemek >5 cm pontossággal rendelkeznek viszont ennek ellenére jól lehet használni ADAS rendszerek funkcióihoz. A cikkben a Lanelet2 térképek feltérképezését, majd az elkészült térképek használatát fogom bemutatni. A Lanelet2 keretrendszerek egy nyílt forráskódú rendszer ami BSD 3-Clause liszensz alatt elérhető. Talán ez az egyik legelfogadottabb nyílt forráskódú HD Map keretrendszer, ez annak is köszönhető, hogy az Autoware.AI és Autoware.Auto is ezt a térkép keretrendszert támogatja elsősorban.

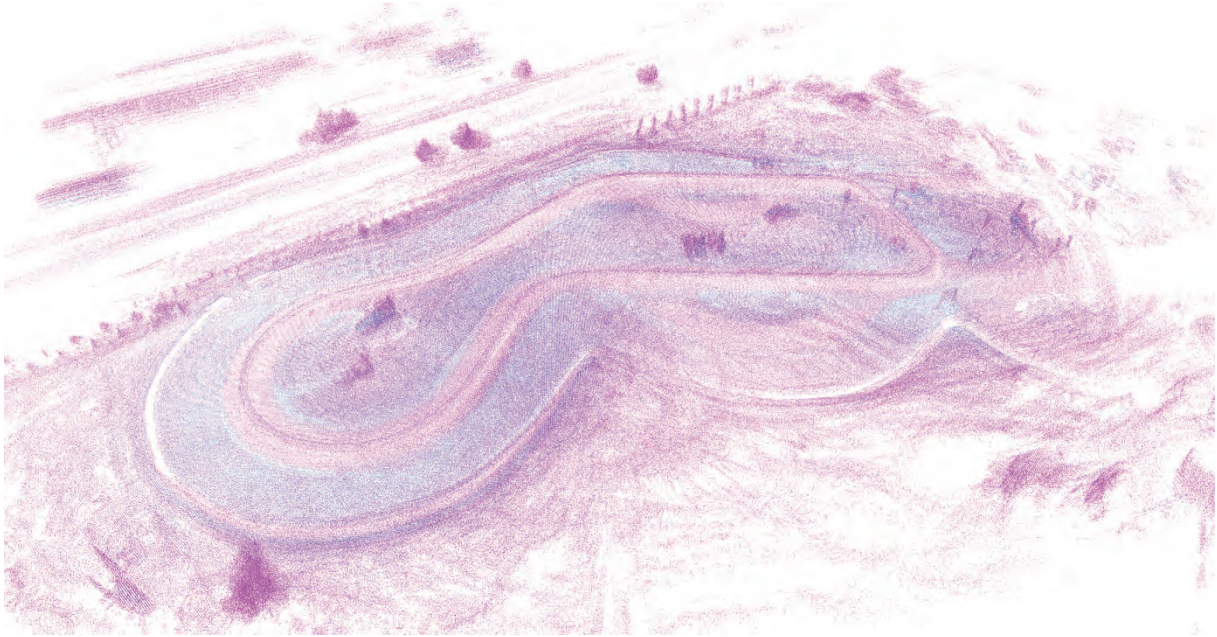
Kulcsszavak: HD Maps, Lanelet2, ADAS, Autoware.AI, Autoware.Auto

Abstract: Self-Driving vehicles often lack the capability to perceive the environment precisely. To resolve this problem HD Maps are often used, especially when the Self-Driving systems should be engaged of all the time. To use these HD Maps effectively across all the Software components, we should be able to localize the vehicle with cm accuracy. Generating precise HD maps use a lot of resources, but also comes with the advantage of having a robust perception system which is not reliant to the state of the environment around it (like rain, snow, etc.). Beyond storing Road and Line surfaces, the Lanelet2 framework provides option to utilize traffic elements like STOP signs and Traffic Lights. The Lanelet2 was first introduced by the FZI Research Center for Information Technology, under BSD 3-Clause license. In the filed Maps for Autonomous vehicles besides HD Maps there is a new type of Maps, called the ADAS Maps, which are way less cost intensive method for generating and storing lane and road surfaces, but these maps also lack the precision compared to HD Maps. In the following article I present a way, how I was able to generate HD maps and use these maps for motion planning algorithms.

Keywords: HD Maps, Lanelet2, ADAS, Autoware.AI, Autoware.Auto

1. Lanelet2 alapú HD Map-ek feltérképezése

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



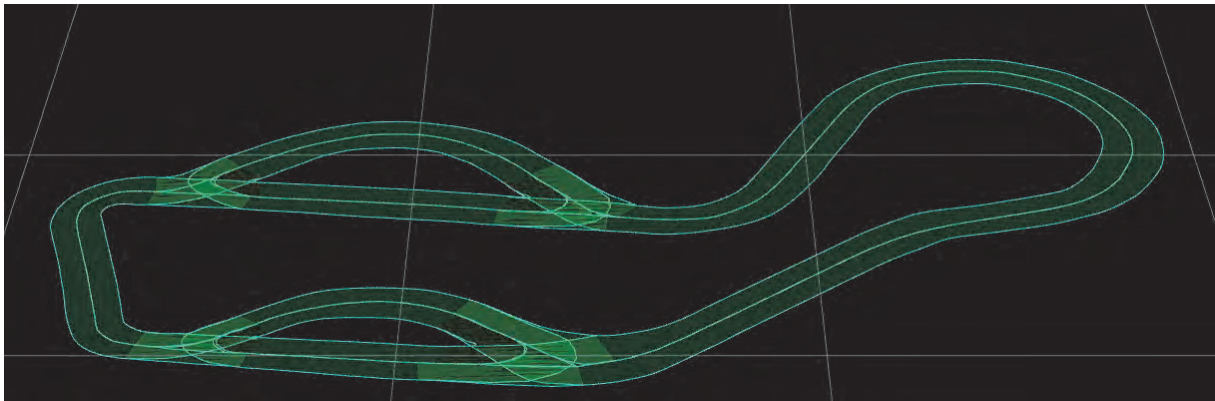
1.ábra. ZalaZone Egyetemi tesztpálya GPS alapján eltolt pontfelhő modellje

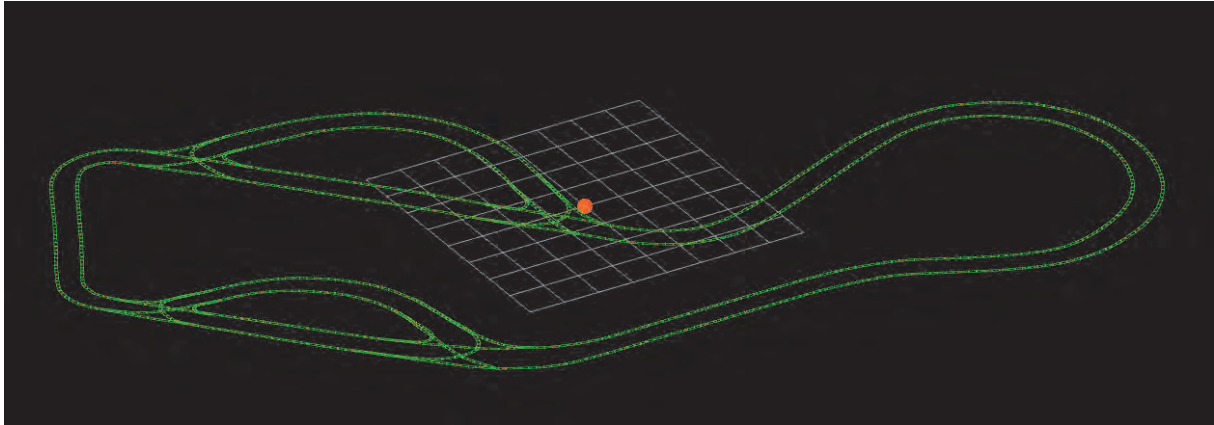
Ahhoz, hogy a térképek annotálása során pontosabban meg tudjuk állapítani a sávszéleket, kamera által gyűjtött RGB adatokat lehet kivetíteni a pontfelhőnek a pontjaira, az így képzett pontfelhőt láthatjuk a 2.ábrán.



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

A térképnek az annotálásához a TierIV Vector Map Builder-ét használtam, az sávoknak a pontosítását ebben az szerkesztőben készítettem el ezeket, ezen kívül használtam hozzá az Assure Map Editor-t mind a két szerkesztő program képes a Lanelet2-es térképeknek a kezelésére. Az Assure Editor összességében jobb a sávok és egyéb elemek közötti relációk létrehozásában, míg a TierIV Map Editor pedig lehető teszi azt, hogy a sávokat poligonként szerkeszthessük. A két szerkesztő programot érdemes lehet felváltva használni, mivel több olyan funkció is van, amit csak az adott szerkesztőben érhető el.



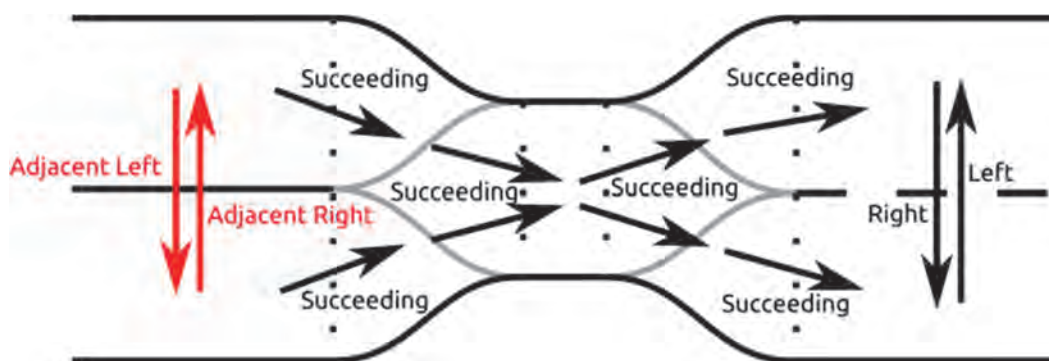


3.ábra. ZalaZone Egyetemi pálya Lanelet2 térképe TierIV Vector Map Editorban (felső képen), Assure Map Editor-ban (alsó képen)

A Lanelet2-es térképeket Autoware.AI rendszerben is támogatottak ezeket használtam fel globális tervezéshez és a környezet detektálás kiegészítéshez is.

2. Globális trajektória tervezés

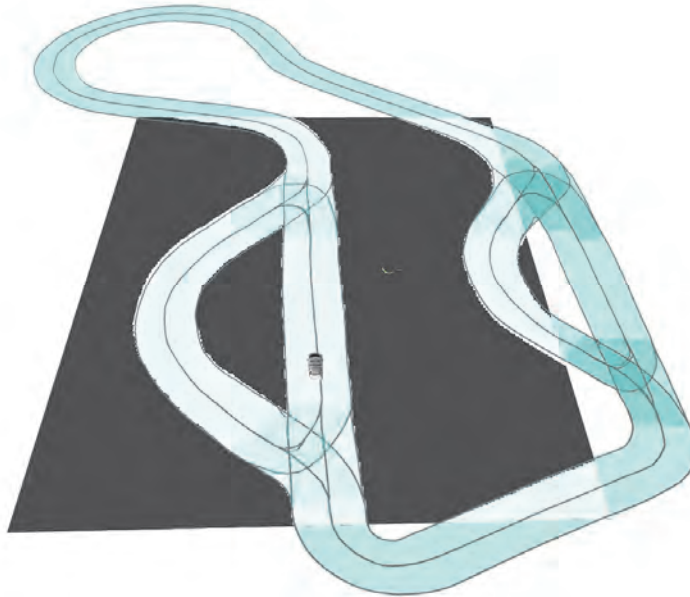
A Lanelet2-es keretrendszer képes globális trajektória tervezni, a globális trajektória tervezésnél a keretrendszer képes kezelni több forgalmi sávot is, így a végleges útvonal is tartalmazni fogja ezt. Ez akkor lehet hasznos, ha több sávós útszakaszon sávokon belül szeretnénk lokalizálni a járművet, illetve olyan útelemelek ahol, hogy jó sávba pozicionálja magát a jármű. Ezen kívül még olyan városi szituációkban is hasznos a szolgáltatott globális trajektória, ahol gyengébben látszanak a sávot jelző felfestések, vagy egyéb forgalmi elemek hiányoznak, amelyek fontosak ahhoz, hogy KRESZ szerint tudjon közlekedni az adott jármű. A Lanelet2 keretrendszer által gyártott globális trajektória lehetővé teszi, hogy a létrehozott nyomvonal pontokat képes a jármű követni, ez elsősorban a nagy pontosságú térképeknek köszönhető, így ettől is függ.



4.ábra. Lanelet2 útvonaltervezés több elérhető sáv esetén. Forrás: [1]

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

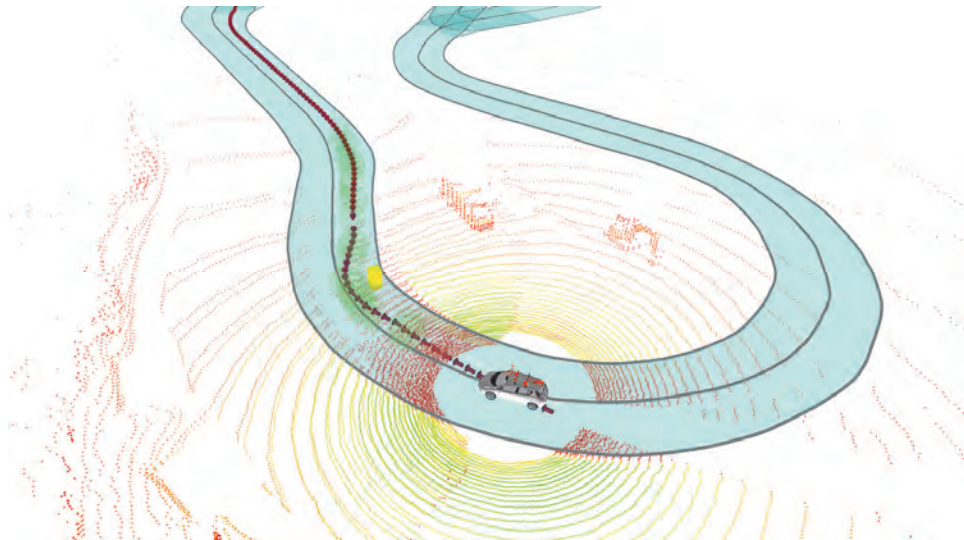
A Lanelet2-es térképek jól használhatóak a környezet detektálás kiegészítésére, mivel egyben a sávok és a bejárható terület is előre ismert a jármű számára így a lokális tervező számára is ismert a bejárható terület. Az előre definiált járható területen kívül még Lidarok, és kamera által detektált területet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



5.ábra. Definiált bejárható terület Lanelet2-es térképen

3.1 Akadályelkerülés a globális trajektória módosításával

Az akadályelkerülés az egyik gyakran használt megoldás arra, hogy a jármű mindenképp tartani tudja a globális trajektóriát. Ebben a megoldásban amennyiben a jármű detektál egy objektumot ami az előre lefektetett globális trajektórián helyezkedik el, megtervez egy kikerülő manővert, módosítva a globális trajektóriát. A kikerülés tervezéséhez felhasználja a Lidar-Kamera-Lanelet2Map fúziójából készített bejárható területet.



6.ábra. Akadályelkerülés, módosított globális trajektóriával

Az akadály kikerülés megtervezéshez egy A* algoritmust használ az Autoware.AI stack, amit egy a szabad területből generált Occupancy Grid-en futatt le. Majd az elkészített laterális trajektória mellé, megtervezi útvonalpontok sebességét is figyelembe véve a jármű lehetőségeit.

4. További lehetőségek és lehetséges fejlesztési irányok

A Lanelet2-es térképeket könnyű használni, és nagyon sok autonóm funkciót lehet velük megvalósítani. Azonban talán a legnagyobb hátráltató pontjuk az, hogy hogyan lehet elkészíteni ezeket a térképeket. Jelenleg erre megoldás a kézi annotálás, ha ezt a munkafolyamatot skálázva lehetne automatizálni akkor az jelentősen felgyorsíthatja ezeknek a térképeknek a készítését és ezáltal az elterjedését is. Az HD Map-ekkel foglalkozó cégek saját maguk jellemzően mind kidolgoztak erre fél automatizált megoldásokat azonban ezek megoldások is igényelnek emberi felügyelet a munkafolyamat végén.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a „Nemzeti Laboratóriumok 2020 Program – Autonóm Rendszerek alprogram – Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium létrehozása a Széchenyi István Egyetemen (NKFIH-869-9/2020)” biztosított forrást.

Irodalomjegyzék

[1] Github FZI Forschungszentrum Informatik Lanelet2 Routing

Útpadkával határolt szabad terület detektálása MLS LiDAR pontfelhő alapján

Roadside and free-space detection based on MLS LiDAR pointcloud

Csaplár László^a, Patai Bence^b

^aSzéchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont
csaplar.laszlo@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem - Járműipari Kutatóközpont
pbence.sb@outlook.com

Absztrakt: A megengedett haladási irány (szabad terület), a szegélyek és a különböző akadályok hatékony észlelése alapvető fontosságú az önvezető autók navigálásához. Ebben az értekezésben egy olyan algoritmust mutatunk be, mely képes egy MLS LiDAR szenzorból származó pontfelhőből kinyerni és megkülönböztetni az utat és a járdaszegélyt leíró voxeleket, továbbá készít egy jelölést a szabad területet határoló pontok segítségével.

A kinyert adathalmaz pontjait első lépésben a megfelelő kezelhetőségi formára hozzuk, majd különböző feltételek szerint csoportosítjuk őket. A detektálás több módszer egyidejű alkalmazásával történik, melyek a továbbiakban részletes bemutatásra kerülnek. Az algoritmushoz társul egy paraméter lista is, melynek segítségével a felhasználó az adott szenzorhoz állíthatja be az értékeket. A cél egy univerzális megoldás létrehozása, ami nem korlátozódik egy adott típusú eszközre.

Az eredmények láttán elmondható, hogy az algoritmus az esetek többségében megfelelő pontossággal és gyorsasággal funkcionál. Abban az esetben korlátozott a működése, amikor a szenzor nem lát rá a szegélyre, és emiatt vakfoltok keletkeznek az autó két oldalán.

Kulcsszavak: autonóm jármű, LiDAR, szabad terület kijelölése markerrel, akadályfelismerés, marker jelölés

Abstract: It is fundamental for the navigation of self-driving vehicles to detect the allowed direction of way (free space), borders, and different barriers efficiently. In our thesis we are presenting an algorithm and the creation of it, which makes it possible to extract and differentiate sidewalk and road voxels from the point cloud derived from MLS LiDAR sensor. Furthermore, the algorithm creates a marker using the points delimiting the free area.

In the first step we are going to convert the points collected from the data set into a manageable form, and then sort them into different groups according to different conditions. Detection is performed using several methods simultaneously, which are described in detail below. A parameter list is also added to the algorithm with which the user can adjust the values to the given sensor. The goal is to develop a universal solution, which is not limited to a given type of device.

Based on the results, the algorithm appropriately functions regarding the accuracy and speed in the majority of cases. Its functionality is limited in cases when the sensor cannot see borders and because of it blind spots appear on both sides of the car.

Keywords: autonomous vehicle, LiDAR, marker-based indication of free-space, obstacle detection

1. Bevezetés

Az önvezető autók egyik legalapvetőbb feladata felismerni a környezetükben azokat a területeket, amelyeken szabadon végighaladhatnak – magát az úttestet. Ebben fontos szerepet kap az útpadka (itt szűkebb értelemben, mint kiemelt szegély, mesterséges szintkülönbség értendő), ami az utat egyértelműen elhatárolja a környezet többi részétől, jelentősen megkönnyítve a problémát. A padka egyik legfontosabb jellemzője, hogy geometriailag elkülönül az úttesttől, magasságában számottevően meghaladja azt. Ennek a magasságbeli eltérésnek az észlelésére kellőképpen alkalmas egy LiDAR szenzor, ami az autóra rögzítve (Mobile Laser Scanning) folyamatos képet szolgáltat a környezetről, annak geometriai alakjáról. Ezt jellemzően egy 3D pontfelhő formájában továbbítja kimenetként.

A legnagyobb kihívást az út egyenetlenségei, deformációi, illetve egyéb hibái okozzák, amik növelik a számítások szükséges bonyolultságát, valamint a környezet érzékelésének korlátai - mint például a szenzor felbontása, annak elhelyezkedése. További korlátot jelent még a véges számítási kapacitás, hiszen egy autonóm jármű esetén a számításokat valós időben kell végrehajtani, nagy elemszámú adathalmazon és a szabad útterület kijelölése csak egy kis részét képezi a problémák széles körének, amivel egy autonóm járműnek egyidejűleg meg kell tudnia birkózni.

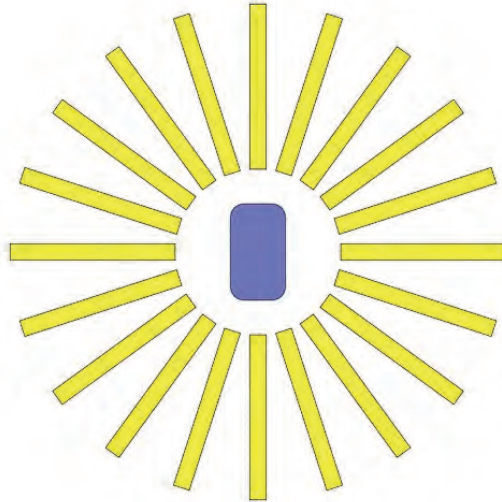
Az itt bemutatott algoritmusok különféle megoldásokat kínálnak a címben felvázolt problémára.

2. Sugár-irányú padka detektálás

Ez a módszer a LiDAR pozíciójából kiindulva vizsgálja a pontfelhőt. Adott irányban végighaladva az egymást követő pontokra (párosával) illeszthető egyenesek meredekségét vizsgálja. Az alapelv az, hogy az útpadka mentén a pontok magasságában bekövetkező hirtelen változás az imént említett meredekségek között is egy kiemelkedő eltérést okoz.

2.1. A módszer leírása

1. A pontokat előbb át kell alakítani hengerkoordináta-rendszerbe.
2. Az így kapott pontfelhőből az autótól sugár irányban (r-koordináta) távolodva ki kell jelölni egy vékony sávot, és kiszűrni a rajta kívül eső pontokat.
3. A sávon belüli pontokat r-irányban sorba kell rendezni.
4. A rendezett pontokat az origótól kifelé haladva meg kell vizsgálni az r-z (távolság-magasság) síkon egy élkereső algoritmussal.
5. A sáv helyzetét különböző irányokban (adott szögenként) felvéve meg kell ismételni a 2...4 lépéseket, az elérni kívánt pontosságtól függően. (1. ábra)
6. Az élkereső által kijelölt pontok helyzete kirajzolja a padka körvonalát.



1. ábra: A detektáló sávok mintázata, felülnézetből (egyszerűsített illusztráció).
(kék – autó, sárga – sávok)

2.2. Szűrési előfeldolgozás

Megfelelően megválasztott (elhelyezett) sávok esetén azok területei között nincsen átfedés. Ez úgy is felfogható, hogy minden detektáló sáv egy adott szögtartományhoz tartozik, és azon belül bármelyik pont vagy csak az ahhoz tartozó sávon belül helyezkedik el, vagy a sávokon kívül. Ebből kifolyólag minden pontot be lehet sorolni egy olyan szögtartományba, amiben csak egy sáv található, majd pontonként az összes sáv helyett elegendő arról az adott sávról megállapítani, hogy a területén található-e a vizsgált pont. Ez nagyságrendekkel csökkenti a szűrés számítás-igényét (a sávok számával arányosan, tehát pl. 360 sáv esetén 1/360-adára).

2.3. Szűrés - magasság

A sávokat térben elforgatott téglatestekként is kezelhetjük, de ez esetben feleslegesen komplikált transzformációkat, illetve trigonometrikus átalakításokat kell alkalmazni, ismét a számítás-igény rovására. Ezt kiküszöbölendő, élhetünk néhány egyszerűsítéssel. A pontok magassága nem játszik fontos szerepet a szűrés során, így elég x és y , vagy éppen r és φ koordináták alapján szűrni. A számítások mennyisége ezzel csökken, azok típusa viszont nem változik.

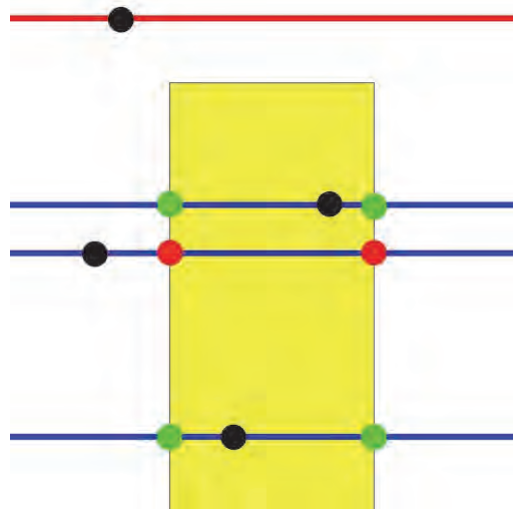
2.4. Szűrés - párhuzamos irány

A következő egyszerűsítés a sávok vastagságából adódik. A sávok jó közelítéssel vonalszerűek, vastagságuk (ami egy paraméter segítségével állítható) minimális - éppen csak akkora, hogy a számításokhoz elegendő számú pontot foglaljanak magukba. Ha a sávok hossziránya mentén a már előzetesen áttranszformált pontok r -koordinátája alapján szűrünk, akkor a sávok (immár síkbeli) téglalap-alakú határvonalának sugár-irányra merőleges élei vonal helyett kifelé görbülő körív-alakot vesznek fel. Ez nem befolyásolja jelentős módon a végeredményt, viszont nem igényel további trigonometriai műveleteket, transzformációkat.

2.5. Szűrés - merőleges irány

A legnagyobb problémát a pontok helyzetének sáv-hosszirányra merőleges összetevője jelenti. Mivel a sávok oldalsó (hossziránnyal párhuzamos) határoló egyenesei nem haladnak át az origón, egyszerűbb x és y , mint φ alapján szűrni, azonban trigonometrikus függvények használata itt már nem kerülhető el. A szükséges számítások mennyiségét viszont tovább lehet csökkenteni.

Vizsgáljuk meg először azt az esetet, amikor egy sáv (hossz-iránya) egybe esik valamelyik (x vagy y) koordináta-tengellyel. Ebben az esetben egyszerű a teendő: egyedül azt kell megvizsgálni, hogy a pont sávra merőleges koordinátája a két határoló koordináta között van-e - ez tulajdonképpen egyetlen, valamelyik koordinátatengellyel párhuzamos vonal pontjait jelenti (2. ábra).



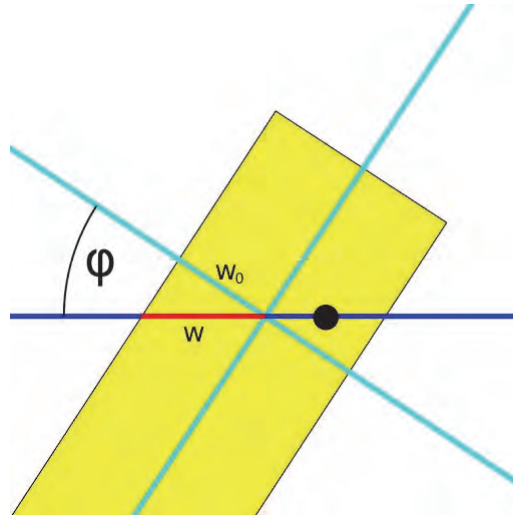
2. ábra: Szűrés egy sáv végénél

A fekete pontok a vizsgált pontokat jelölik, a piros, illetve zöld pontok pedig az oldalsó határoló vonalaknak a vizsgált pontokra illesztett egyenesekkel (kék) alkotott metszéspontjait.

Megjegyzés: a sáv (sárga) végét jelölő határvonal az egyszerűsített r -irányú szűrés miatt egyenesből kis görbületű körívvé torzul - ez az ábrán nincs feltüntetve.

Mivel bármelyik pontra található legalább egy olyan egyenes, amelyik párhuzamos az egyik koordinátatengellyel és egyúttal metszi a sáv oldalsó határait is - melyek az origón áthaladó, egyetlen meredekséggel jellemezhető középvonaltól állandó távolságra található egyenesek - ez a vizsgálati módszer némi egyszerű trigonometria bevonásával bármelyik tetszőleges szöghelyzetet elfoglaló sávra alkalmazható.

Ha kiválasztunk egy vizsgálandó pontot és a fent említett módon hozzá tartozó egyenest, az egyenes bármelyik sávval alkotott metszetének hossza az egyenes helyzetétől függetlenül állandó. A sáv középvonalán kiválasztott tetszőleges pont egyik (x vagy y) koordinátája a másiktól $\tan(\varphi)$ (vagy épp $1/\tan(\varphi)$) összefüggéssel számítható, a sáv adott irányú metszetének hossza - aminek a fele a határoló egyenesek középvonaltól való távolságát adja - pedig az eredeti vastagság $\cos(\varphi)$ -szerese (3. ábra).



3. ábra: A sáv szöghelyzetének és a metszet hosszának kapcsolata: $w = \frac{w_0}{\cos(\varphi)}$

(w_0 - határvonal keresztirányú távolsága a középvonaltól, w - határvonal φ -irányú távolsága a középvonaltól)

Mivel φ állandó (csak paraméter-változtatás esetén változhat), ezért $\tan(\varphi)$ -t és $\cos(\varphi)$ -t elegendő egyszer (a program indításakor, illetve paraméter-változtatás során) kiszámítani és futás-időben ezekkel a konstansokkal csupán szorozni kell, ami nagymértékben csökkenti a teljesítmény-igényt.

2.6. Élkeresés

Különböző élkereső eljárások jelentősen eltérő eredményt adnak. A végeredményről készített felvételek valós méréseken készített pontfelhőkből származnak, az adott éldetektáló algoritmussal kiértékelt pontok egyetlen, felülnézeti képen kerültek összegzésre: zöld szín jelöli az úttestnek érzékelt pontokat és piros a padkaként észlelteket.

2.6.1. Állandó paraméteres módszer

Ez a módszer két, radiális irányban szomszédos pont által alkotott egyenes meredekségét vizsgálja, pontosabban azt hasonlítja össze egy konstans értékkel - nagyon egyszerű, de rugalmatlan.

A számítás módja:

$$\frac{(z_2 - z_1)}{(r_2 - r_1)} > p \quad (1)$$

Ahol:

z_1 - első pont magassága

r_1 - első pont sugár irányú koordinátája

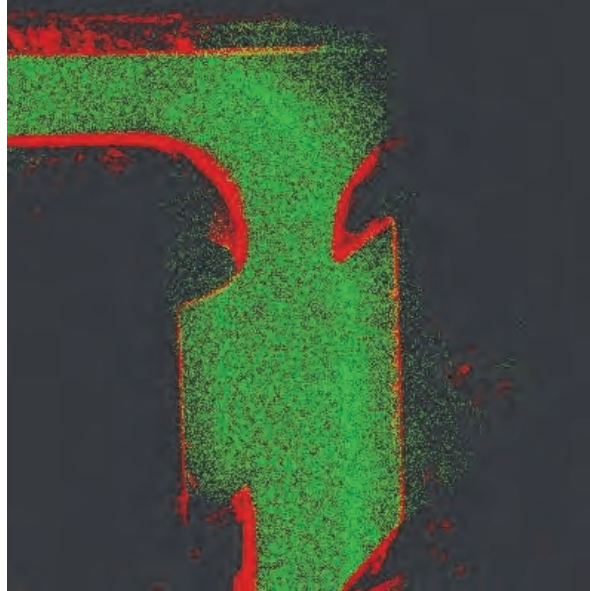
z_2 - második pont magassága

r_2 - második pont sugár irányú koordinátája

p - megadott paraméter

(Az egyenlőtlenség fennállása esetén a második pont már a padka részét képezi, annak határvonalát jelöli.)

Az eljárás az esetek túlnyomó részében sikeresen különíti el az utat és a padkát, azonban a hiba mindenképp jelentős mértékű, főként tévesen útnak jelölt pontok formájában jelentkezik (4. ábra).



4. ábra: Élkeresés konstans paraméter alapján

2.6.2. Adaptív módszer

Ez a fentebb említett módszer mellett figyelembe veszi az út helyi (adott szenzorral érzékelt, adott útterülethez tartozó) sajátosságait is. A vizsgálat sikerességének előfeltétele, hogy a vizsgált pontok közül az első néhány (az autóhoz legközelebbi kb. 4...8 pont - a konkrét érték paraméterrel állítható) az útesten helyezkedjen el.

A számítás módja:

$$m^2 - a^2 > s \cdot k \quad (2)$$

Ahol:

m - a vizsgált két pontra illesztett egyenes meredeksége

a - átlag (előző pontokból)

s - szórás (előző pontokból)

k - együttható (paraméter)

A szórás adja az átlagtól való várható eltérést, a megengedhető eltérés tehát ennek az értéknek egy biztonsági tényezővel vett szorzata. A meredekség eltérését érdemes az értékek négyzetéből számolni, hogy a szélsőségesebb változások nagyobb súlyozással kerüljenek számításba. Az algoritmus az átlagot és szórást minden pont vizsgálatánál az azt megelőző pontok alapján számolja, de csak az első néhány (pl. 10 - ez szintén paraméterrel állítható) pont után kezdi a vizsgálatot, amikor már elegendő adat áll rendelkezésre. Az állandó paraméteres módszerrel párhuzamban alkalmazandó (vagy-kapcsolatban).

Ez az eljárás az előző hibát nagymértékben csökkenti, viszont egyben egy új hiba forrásává is válik - az úttesten sok pontot tévesen padkaként érzékel (5. ábra).



5. ábra: Élkeresés adaptív módszerrel - hibás

2.6.3. Távolság korrigálása

Az egymáshoz túl közel eső pontok esetében jelentős problémát okoz a pontok közötti meredekség számításánál azok z-koordinátáján (magasság) jelentkező legkisebb hiba is. Ezt kiküszöbölendő az adaptív módszernél számított értéket súlyozni kell a pontok távolságával (azzal fordítottan arányosan nő a hiba valószínűsége).

A számítás módja:

$$(m^2 - a^2) \cdot (r_2 - r_1) > s \cdot k' \quad (3)$$

Ahol:

m - meredekség

a - átlag

s - szórás

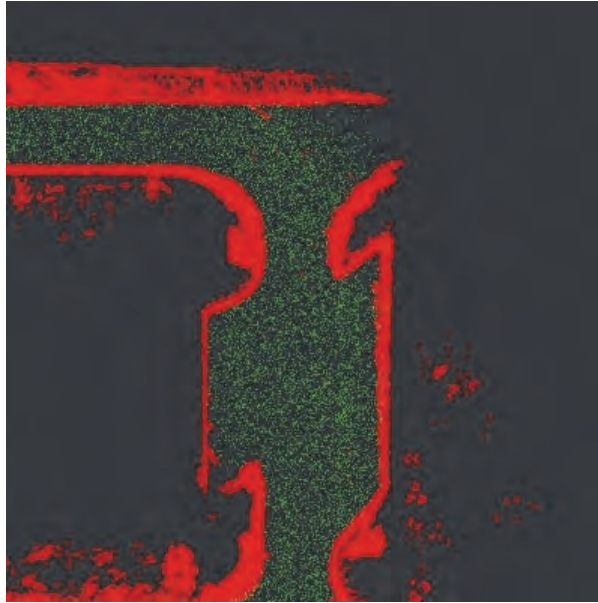
k' - együttható

r_1 - első pont r-koordinátája

r_2 - második pont r-koordinátája

Így a kisebb távolságok kisebb, míg a nagyobbak nagyobb súlyozást kapnak - a megbízhatósággal arányosan.

Ez a korrekció mindkét fajta hibát (út helyett padkának észlelt pontokat és padkán túl tévesen észlelt utat) csaknem teljes mértékben kiküszöböli (6. ábra).



6. ábra: Élkeresés adaptív módszerrel – korrigált

3. Körvonal alapú padka és szabad terület detekció

Az alábbi fejezetben, a körvonalakon alapuló szűrési eljárások kerülnek bemutatásra.

Az algoritmus több lépésből áll, azonban négy főbb terület elkülöníthető, melyek az alábbiak:

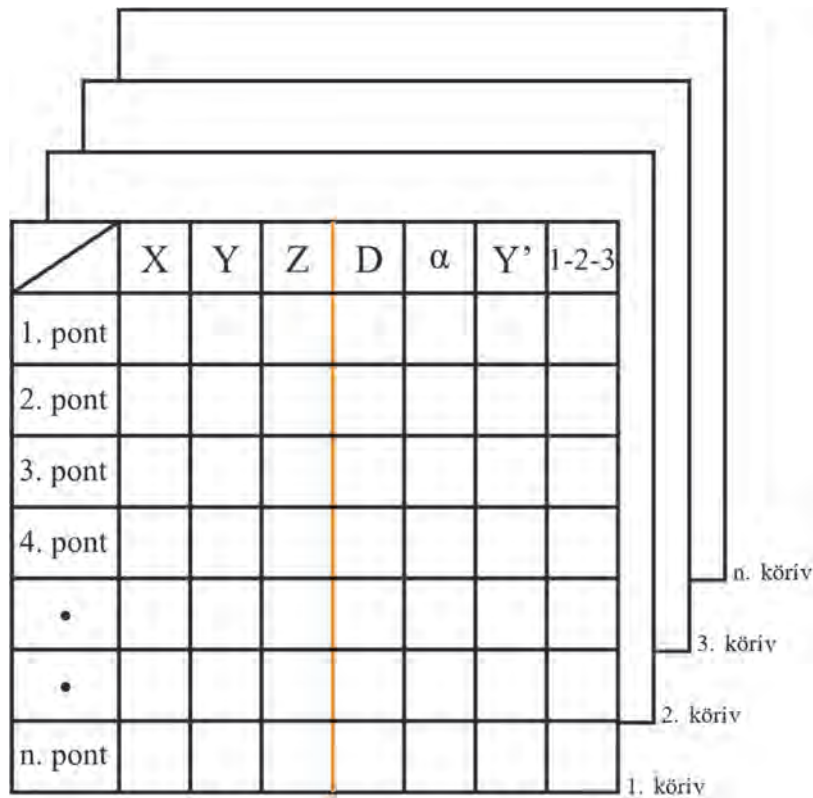
1. A pontok tárolása.
2. A padkapontok szűrése.
3. A szabad terület szűrése.
4. A marker beállítása (a szabad terület poligonnal való jelölése).

Az alábbiakban ezek működésének absztrakt leírása látható.

3.1. A pontok tárolása

Mivel az általunk használt két LiDAR szenzor (Velodyne VLP-16 és Ouster OS1-64) sugárirányban veszi fel a pontokat, a körvonal alapú megoldás egyik legfontosabb feladata a pontok megfelelő tárolása és rendezése.

A munka során célszerű tömböket használni a pontok tárolására, ez nagyban megkönnyíti azok kezelhetőségét. Kezdetben egy kettődimenziós tömb fogja az alapot szolgáltatni, melyben a pontok, a mérések sorrendjében fognak tárolódni. A pontok mellett, azok különböző tulajdonságaik is helyet foglalnak a tömbben. A következő lépésben ezen tulajdonságok alapján a pontokat elhelyezem egy háromdimenziós tömbben, az alábbi módon (a 4 – 7. oszlopig a szűrési eljáráshoz kapcsolódó adatok fognak elhelyezkedni) (7. ábra):



7. ábra: A pontok tárolásának módja.

A pontok körvonalakra bontásához szükség volt egy olyan tulajdonságra, amely egyszerre érvényes az összes szenzorra, ez pedig a vertikális szögfelbontás. Minden szenzornak van egy meghatározott vertikális szögfelbontása. 16 és 32 csatornás rendszereken ezek általában fix, ennél nagyobb felbontást kínáló társaiknál, pedig lehetőség van különböző intervallumon belül állítani ezt az értéket. Természetesen minimális eltérés lesz egy adott körív pontjainak szögei között, ezért erre figyelni kell. A vertikális szögfelbontás határozza meg, hogy az adott szenzor, adott távolságon belül hány körív leképezését teszi lehetővé, azaz a körívek sűrűségét adja. A Velodyne VLP-16 szenzor értéke pontosan 2.0° . A korábban említett 64 csatornás Ouster vertikális szöge a használati módtól függ, azonban mindig $[0.35^\circ; 2.8^\circ]$ intervallum között található.

Első lépésben szükség van egy fix pontra (szakaszra). Az alábbi ábrán, szaggatott vonalként jelenik ez meg (8. ábra) $(0; 0; z)$, ahol „z” értékét az adott pont magassága adja. Ezzel a szakasszal, minden egyes origó – pont szakasz bezár egy bizonyos szöget. Adott kör pontjain, ez a szög kis eltéréssel megegyezik. Emiatt a „kis” eltérés miatt fontos, hogy már a program elején felvegyünk egy változót, melyet olyan értékkel látunk el, ami nagyobb az adott kör pontjainak legnagyobb kimoszulásánál. Alapesetben 0.18° ennek a változónak az értéke. Tehát ha egy kör pontjai 20° -os szöget zárnak be, akkor $20^\circ \pm 0.18^\circ$, még ugyanazt a kört fogja jelteni. Figyelni kell, hogy ennek az értéknek kisebbnek kell lennie, mint az adott LiDAR, legkisebb szögfelbontása. Ez az érték az általam tesztelt összes adathalmazon megfelelt, de a felhasználó szabadon állíthatja, ha egy szenzor típusnál mégis hibát tapasztalna.

Ezen szögek értékeit, a koszinusz és a szinusz szögfüggvények segítségével, könnyedén kiszámíthatjuk. A befogót a „z” értéke adja, azaz a magasság. Abban az esetben, amikor a „z” kisebb, mint 0, akkor koszinusz függvényt alkalmazunk, egyéb esetben pedig szinusz. Természetesen számoláskor nem használhatunk negatív értéket, a „ $z < 0$ ” definíció arra vonatkozik, hogy az adott pont, a LiDAR elhelyezkedésénél, alacsonyabb pozícióban található. Az átfogó értékét, az origó – pont távolsága fogja adni, az alábbi képlet alapján:

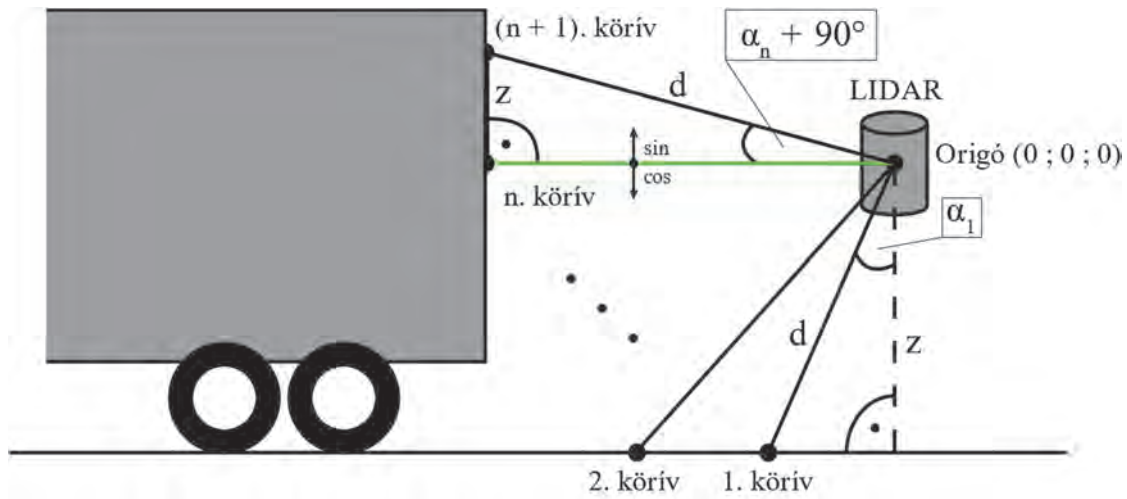
$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2} \quad (4)$$

Ahol az X-Y-Z a pontok koordinátáját jelöli.

Minden esetben, amikor szinusz függvényt alkalmazunk, a kapott értékhez hozzá kell adni még 90°-ot. Ezek alapján a képletek a következők:

$$z < 0 \rightarrow \alpha = \cos^{-1}\left(\frac{|z|}{d}\right) \quad (5)$$

$$z \geq 0 \rightarrow \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{z}{d}\right) + 90^\circ \quad (6)$$



8. ábra: Szögek meghatározása, a különböző körvonalakon.

A tömb első négy oszlopát átemeljük a kettődimenziós tömbből. A negyedik oszlop (ami az origótól vett távolságot tárolja) annyiban fog különbözni, hogy „z = 0” értékkel számolunk. Az ötödik oszlop értékeit is itt számoljuk ki, melyet a szűrési eljáráshoz használunk majd fel a későbbiekben. Ebben az oszlopban a pontok forgásszögét határozzuk meg (0 – 360°) (9. ábra) az alábbi képlet alapján:

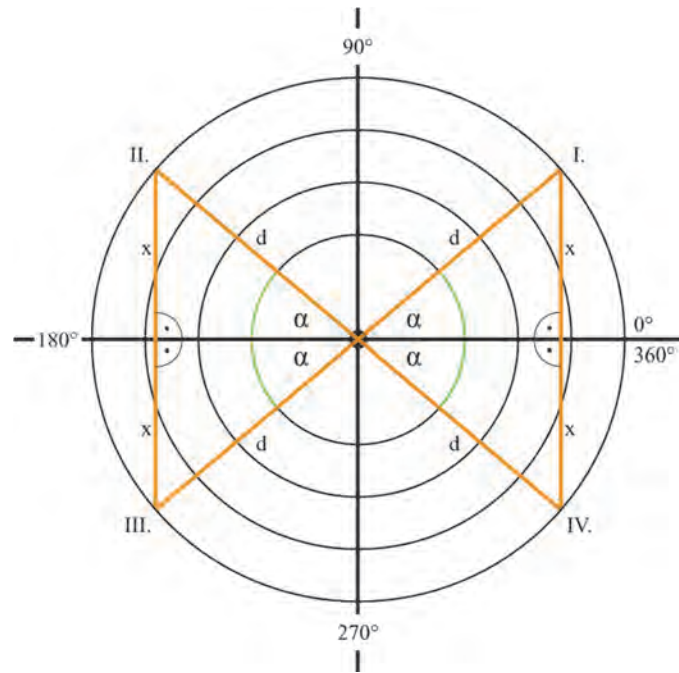
$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{|x|}{d}\right) \quad (7)$$

I. negyed: [0°; 90°] → α

II. negyed:]90°; 180°] → 180° – α

III. negyed:]180°; 270°] → 180° + α

IV. negyed:]270°; 360°[→ 360° – α



9. ábra: Forgásszögek meghatározása.

Ezek mellett az algoritmusban különböző feltételek is helyet kaptak, amik azt a célt szolgálják, hogy semmilyen módon ne lépjen fel programhiba a futás során. Például előfordulhat, hogy egy rossz paraméter miatt, egy 64 csatornás rendszerrel több körvonal keletkezik, mint 64, ezt tudnia kell kezelnie a programnak.

Továbbá, a (2). fejezetben tárgyalt eljárás során felismert akadálypontok, már a program ezen részén kapnak egy jelölést, a 3D tömb 7. oszlopában.

3.2. A padkapontok szűrése

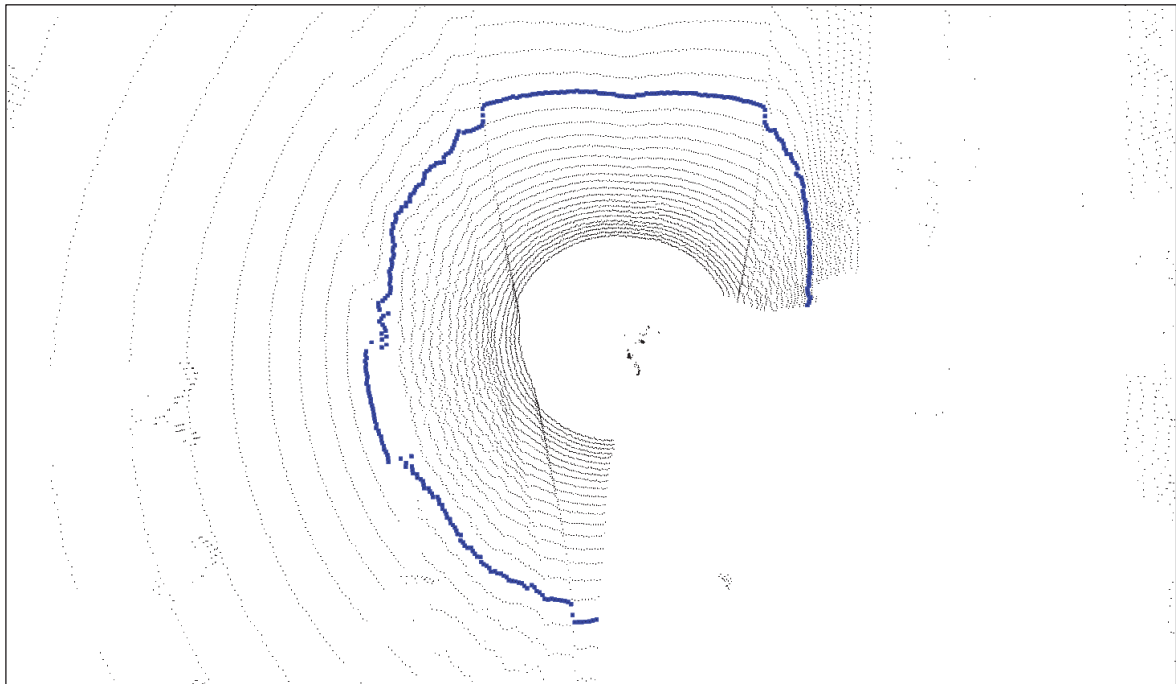
Ebben az eljárásban két padka szűrési eljárás is implementálva van, hogy a legjobb eredményt érhesük el.

1. $X = 0$ módszer.
2. $Z = 0$ módszer.

3.2.1. $X = 0$ módszer

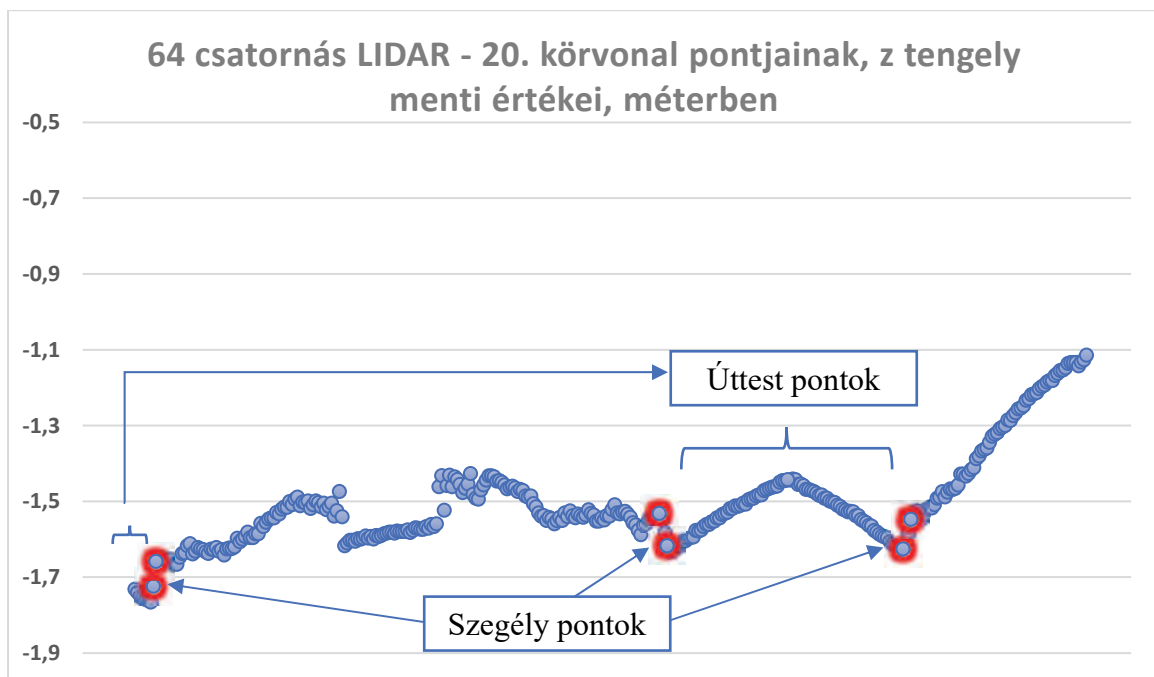
Mind a két módszer használható önmagában a magaslati pontok detektálásához, azonban a kettő kiegészíti egymást. Kihasználva a háromdimenziós tömböt, egy kezdeti ciklus meghatározza, hogy mely körvonalat figyeljük. Az első megoldásban a pontokat oly módon vizsgáljuk, hogy az „x” koordinátákat nem vesszük figyelembe ($x = 0$) és új „y” értékeket veszünk fel a háromdimenziós tömb hatodik oszlopába. Cél, hogy a körvonalból egy egyenest állítsunk elő. A szomszédos pontok távolságát az új „y” értékek segítségével, 1 cm-re állítottam be (a kezdeti pont „y” értéke 0). Erre azért volt szükség, hogy erőteljesebb határvonalak keletkezzenek az út és a szegély találkozásában.

Egy 64 csatornás LiDAR adathalmazán lefuttatva a programot, az alábbi adatok olvashatóak ki a 20. körvonal pontjaiból (10. ábra - 11. ábra):



10. ábra: 64 csatornás LiDAR - 20. körvonal

Felülnézetből is jól látható, hogy éles változás következik be, ha a szenzor eléri a szegélyt. Adatszerkezetileg, a pontok értékeit koordináta-rendszerbe rendezve az is jól látszik, miért hátrány, ha szimplán magasság alapú szűrőt alkalmazunk. Az úttest középső része (az esővíz elvezetés miatt) magasabban található, mint az út, szegélyhez közeli pontjai.



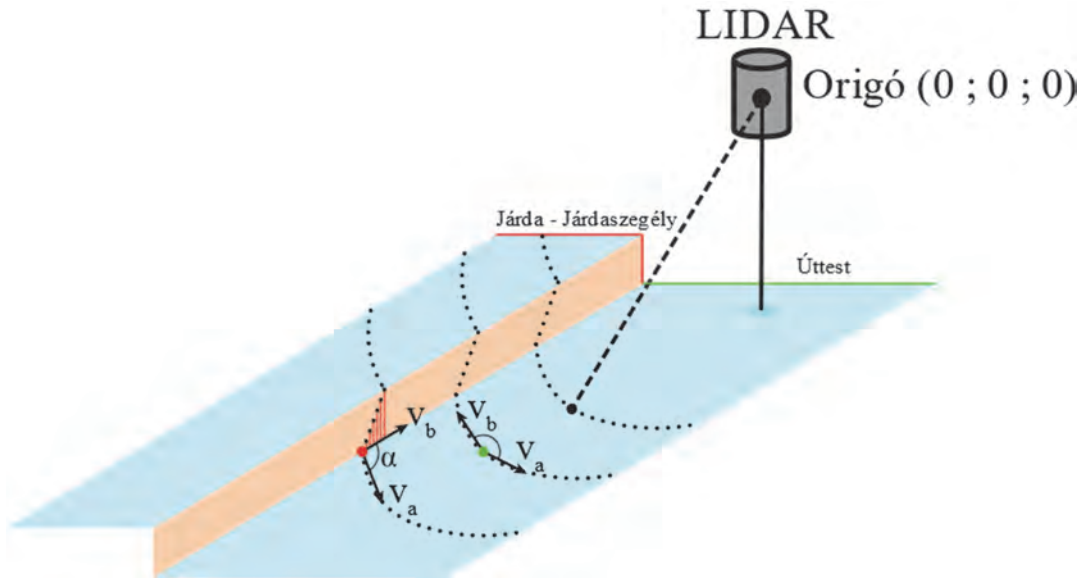
11. ábra: A 20. körvonal pontjainak, z tengely menti értékei.

Az első megoldás, ezeket az éles váltásokat figyeli, három pont által közrezárt szög alapján. Miután az új „y” értékek létrehozásra kerültek, egy ciklus a körvonal összes pontján végez egy ellenőrzést. Ahhoz, hogy három pontot meghatározhassunk, a körvonal első és utolsó pár elemére nem léphet a ciklus (ez az elemszám egyenlő a szegélyen található pontok számával). Ez megbecsülhető az átlagos szegélymagasság (~5 - 15 cm - attól függően, milyen szegélyről

van szó) és a szenzor horizontális szögfelbontásából. Természetesen vezetés közben a szegélyek magassága folyamatosan változhat, az adatok alapján azonban megfigyelhető, hogy általában 5 – 10 db pontot tartalmaz. Az általunk használt szenzor felbontás mellett az 5-ös érték megfelelően működött minden adathalmazon.

3.2.2. $Z = 0$ módszer

A [1]. publikációban használt módszer alapján három szomszédos pont vizsgálata helyett, vektorokat alkalmazunk, az alábbiak szerint (12. ábra):



12. ábra: Vektorok alkalmazása.
Forrás: [1]. forrás, 6. oldal, 7. ábra

A képletek pedig a következők:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{v_a \cdot v_b}{|v_a| \cdot |v_b|} \right) \quad (8)$$

$$v_a = \frac{1}{n} * \left[\sum_{k=1}^n (x_{i-k} - x_i), \sum_{k=1}^n (y_{i-k} - y_i) \right] \quad (9)$$

$$v_b = \frac{1}{n} * \left[\sum_{k=1}^n (x_{i+k} - x_i), \sum_{k=1}^n (y_{i+k} - y_i) \right] \quad (10)$$

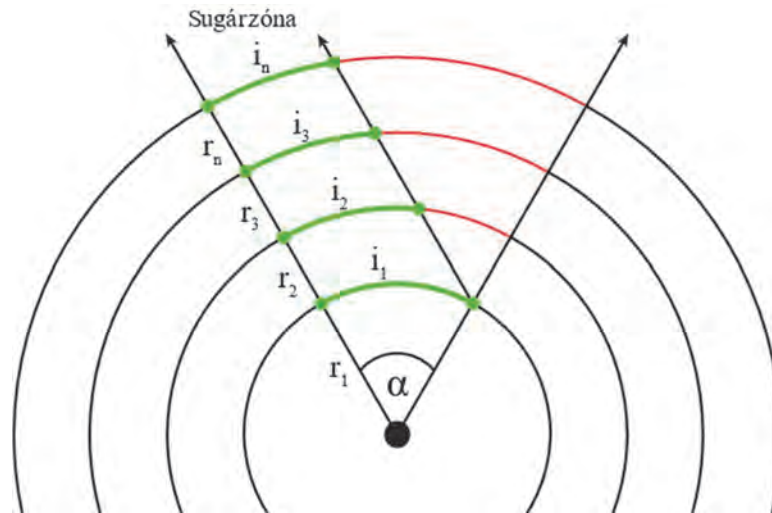
Forrás: [1]. forrás, 6. oldal, 6. képlet

Ahol x és y a pontok koordinátái, az n pedig a paraméterben megadott érték, ami a pontok darabszámát jelöli a szegélyen. A vektor által bezárt szögek mellett, a magasság változását is vizsgálni kell, hogy minimalizáljuk a false positive eredményeket. Ezt oly módon teszi az algoritmus, hogy meghatározza mind a két vektor pontjai közül a legnagyobb „ z ” értékkel rendelkezőt és összehasonlítja a vektorok kiinduló pontjának „ z ” értékével. Amennyiben ez nagyobb, mint a paraméterben megadott küszöbérték és a szög is a beállított értékek alá esett, elfogadjuk a vektorok közös pontját magaspontnak.

Ezek mellett, mind a két megoldásnál vannak még egyéb magasság alapú feltételek, melyek tovább redukálják a false positive pontok megjelenését.

3.3. A szabad terület szűrése

A szabad terület kijelöléséhez az ötlet ugyancsak a [1]. publikációban bemutatott eljárás adta, igaz mi más módon vizsgáljuk a pontokat. Ez egy úgynevezett sugárzóna eljárás. Lényege, hogy a kiindulási ponttól egy adott sugárban vizsgálja a pontokat mindaddig, míg az első szakaszban már megállapított magaspontba nem ütközik (13. ábra).



13. ábra: Sugárzóna meghatározása.

Az eljárás lényege, hogy minden körvonalon egyenlő hosszúságú körív hosszát vizsgálunk, melynek a kiindulási foka megegyezik. A (13. ábra) látható, hogy a zóna balszára ugyanazon fokhoz tartozik, míg a jobbszár változó fokokat vesz fel, minden körvonalon. Az első körvonal fokának alapértéke 30°, ami szabadon állítható futás közben. Az egyenlő körív hosszok megállapítása az alábbi képletek alapján történik:

$$i = \left(\frac{r * \pi}{180^\circ} \right) * \alpha \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{i}{\left(\frac{r * \pi}{180^\circ} \right)} \quad (12)$$

Ha adott sugárzózában magaspontba ütközik a program, akkor 1°-al lép tovább. Tehát, ha kezdetben 0° és 30° között történt a vizsgálat, a következő sugárzóna 1° és 31° között lesz. Ez a folyamat egészen [360° - „a beállított érték (alap esetben 30°)"]-ig tart.

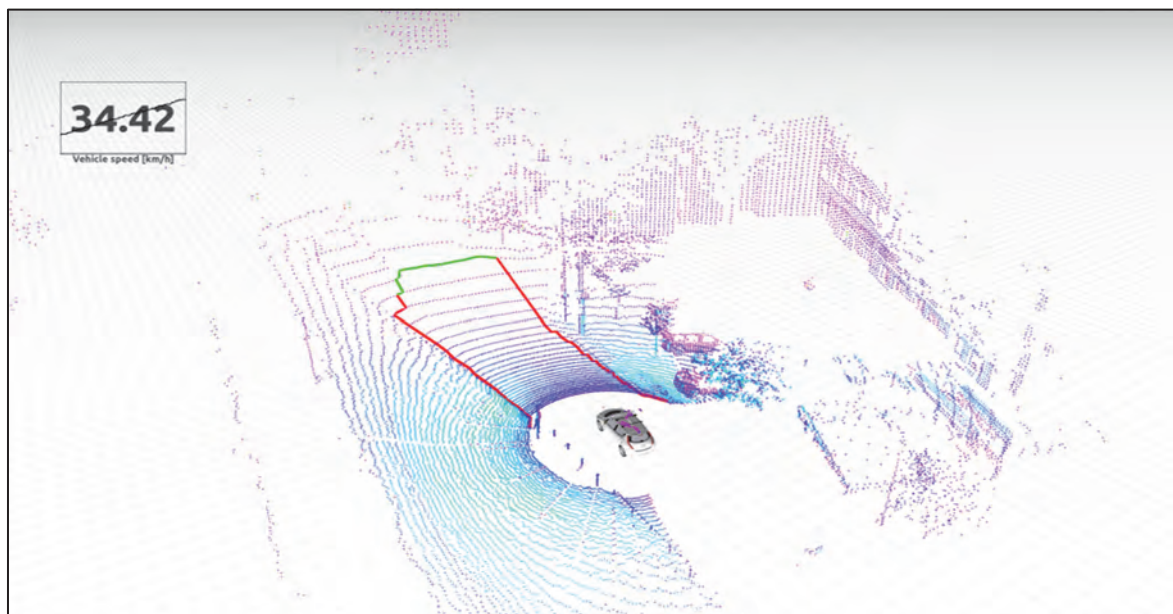
Két fő hibalehetőség miatt, ez az algoritmus kétszer is le van futtatva. Egyszer 0°-360°-ig majd 360°-0°-ig. Az egyik hiba oka, hogy az origóhoz közel álló körvonalak hossza kisebb, mint a távolabbiaké. Másrészt, mivel első futásnál a sugárzóna bal szára fix fokot jelöl, a balra kanyarodó útvonalnál, az út nagyrészt nem képes pontosan jelezni az algoritmus.

Ebben a részben egy vakfoltszűrőt is tartalmaz a program, amire azért volt szükség, mert a LiDAR szenzor sok esetben nem lát rá az autó két oldalán található szegélyre, ha az az autó takarásában van.

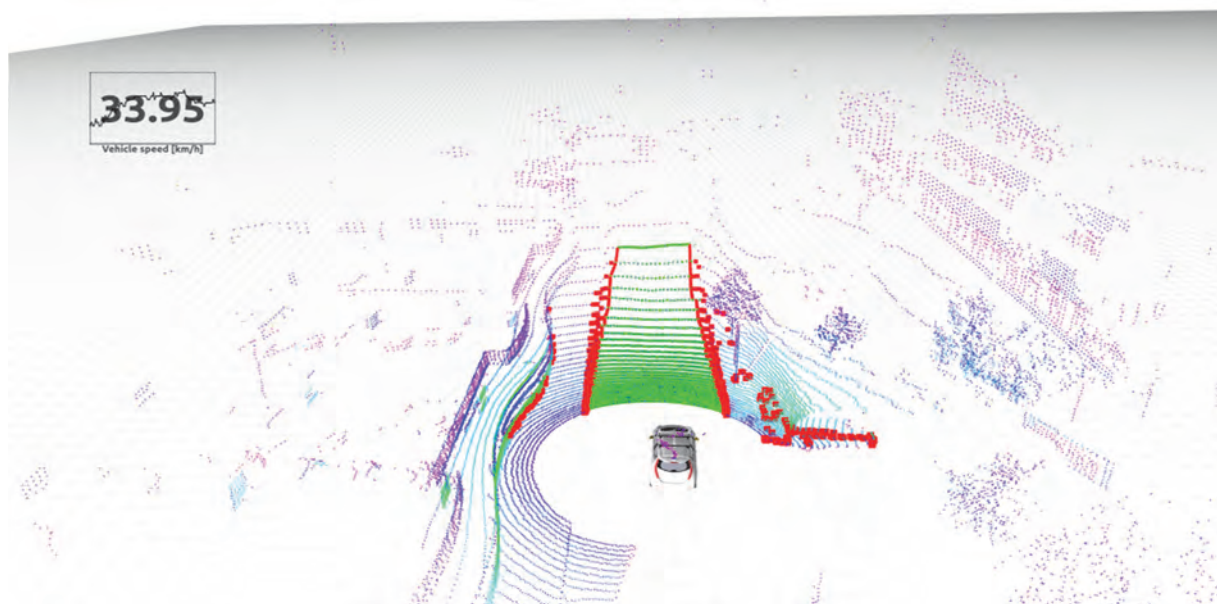
3.4. A marker beállítása (a szabad terület poligonnal való jelölése)

A marker beállítás alapját ugyancsak a forgásszögek adják. A korábbi eljárásban felismert útpontokat alapul véve, a program fokként megkeresi a legtávolabbi út pontot, majd ezeket egy tömbbe sűríti. Ezen pontok alapján már könnyen előállítható egy poligon, mely közrefogja a szabad területet. A program azt is vizsgálja, hogy az adott fokban található e magaspont. Ha igen, akkor az a pont piros színű pontként realizálódik, ha pedig nem, akkor zöld jelölést fog kapni.

4. Eredmények



14. ábra: Marker alapú szabadterület kijelölés.



15. ábra: Magas pontok, úttest pontok, marker.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz a „Nemzeti Laboratóriumok 2020 Program – Autonóm Rendszerek alprogram – Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium létrehozása a Széchenyi István Egyetemen (NKFIH-869-9/2020)” biztosított forrást.

6. Irodalomjegyzék

- [1] Z. Yihuan, W. Jun, W. Xiaonian and D. John, "Road-Segmentation-Based Curb Detection Method for Self-Driving via a 3D-LiDAR Sensor," *IEEE*, vol. 19., no. 12., pp. 3981 - 3991., 2018..

LIDAR adat és nyílt téradat fúzió pályamodellek létrehozásához járműszimulációs környezet számára

LIDAR and open source map data fusion for creating track models in vehicle simulation environments

Dr. Enisz Krisztián^a, Dr. Speiser Ferenc^b, Dr. Fodor Dénes^c

^aPannon Egyetem/Mérnöki Kar, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
eniszk@almos.uni.pannon.hu

^bPannon Egyetem/Mérnöki Kar, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
speiserf@almos.uni.pannon.hu

^cPannon Egyetem/Mérnöki Kar, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
fodor@almos.uni.pannon.hu

Absztrakt:

A fejlett vezetéstámogató és autonóm járműipari rendszerek számára kulcsfontosságú a jármű és környezetének megbízható és pontos ismerete. Ahhoz, hogy ezek a funkciók megfelelően vizsgálhatók és tesztelhetők legyenek, szükség van összetett szimulációs környezetek kialakítására. Amíg a járműdinamikai szimulációs vizsgálatokhoz többnyire nincs szükség összetett pályamodellekre, addig a fejlett vezetéstámogató rendszerek és autonóm funkciók mélyreható vizsgálatához már ez elengedhetetlen. Azt vizsgáljuk, hogy hogyan lehet megfelelő pontosságú pályamodelleket létrehozni úgy, hogy azok Autoware, LGSVL és a hagyományos szimulációs környezetekben is használhatóak legyenek (pl.: Vector DYNA4, IPG CarMaker). A nyílt forrásból származó adatok és mérési adatok feldolgozásával létrehozott pálya modelleket felhasználtuk és kipróbáltuk különböző kereskedelmi célú és ingyenes szimulációs környezetekben is, mint például: Autoware, LGSVL, Vector DYNA4.

Kulcsszavak: lanelet2, járműszimulációs környezet, pályamodel, Autoware, LGSVL

Abstract: For advanced driver assistance and autonomous vehicle systems, reliable and accurate knowledge of the vehicle and its environment is the key. In order to properly investigate and test these functions, complex simulation environments are required. While complex trajectory models are not usually needed for vehicle dynamics simulation studies, they are essential for in-depth investigations of advanced driver assistance systems and autonomous functions. We are investigating how to create trajectory models with sufficient accuracy to be usable in Autoware, LGSVL and traditional simulation environments (e.g. Vector DYNA4, IPG CarMaker). The trajectory models created by processing open source data and measurement data have been used and tested in various commercial and free simulation environments such as Autoware, LGSVL, Vector DYNA4.

Keywords: lanelet2, vehicle simulation, track model, Autoware, LGSVL

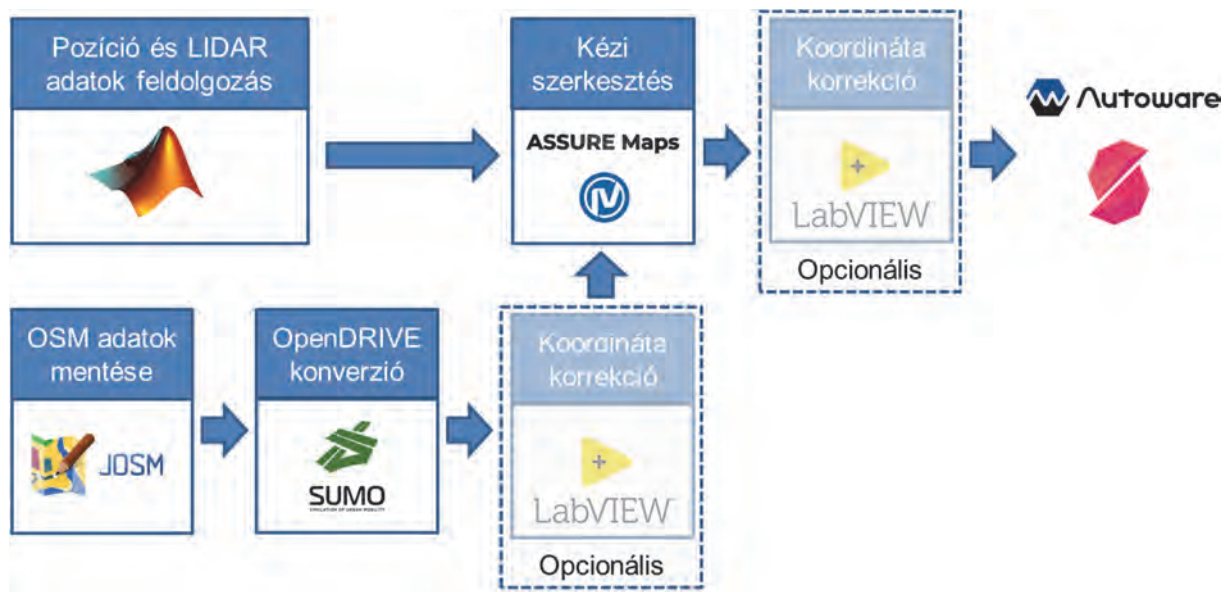
1. Bevezetés

A fejlett vezetéstámogató és autonóm járműipari rendszerek számára kulcsfontosságú a jármű és környezetének megbízható és pontos ismerete. Ahhoz, hogy ezek a funkciók megfelelően vizsgálhatók és tesztelhetők legyenek, szükség van összetett szimulációs környezetek kialakítására. Amíg a járműdinamikai szimulációs vizsgálatokhoz többnyire nincs szükség

összetett pályamodellekre, addig a fejlett vezetéstámogató rendszerek és autonóm funkciók mélyreható vizsgálatához már ez elengedhetetlen. Jelen cikk célja azt megvizsgálni, hogy hogyan lehet kellő pontosságú pályamodelleket létrehozni lehetőleg nyílt forrásból származó adatok segítségével úgy, hogy azok Autoware, LGSVL és a hagyományos szimulációs környezetekben is használhatóak legyenek (pl.: Vector DYNA4, IPG CarMaker).

2. Térképi adatok feldolgozásának lépései

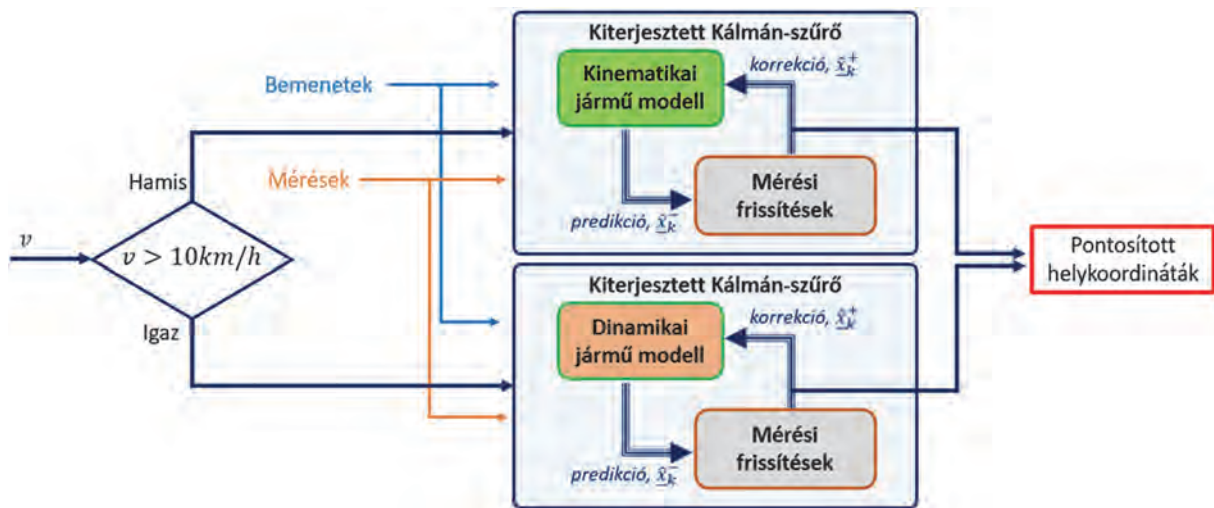
A térképi adatok feldolgozásának számos lépése van (1. ábra), melynek során a nyílt forrásból származó térképi információk és a valós mérések során begyűjtött adatok ötvözésével hozható létre egy kellő pontosságú, a járműszimulációs rendszerekben is alkalmazható térkép.



1. ábra. Térképi adatok feldolgozásának főbb lépései

3. Pozíció és LIDAR adatok előfeldolgozása

Első lépésben a járműves mérések során rögzített pozíció és LIDAR adatok előfeldolgozása történik meg MATLAB illetve MATLAB/Simulink környezetben. A pozíció adatok nemcsak beolvasásra kerülnek, hanem egy saját fejlesztésű járműdinamikai és kinematikai modellen alapuló kiterjesztett Kálmán-szűrőt alkalmazó algoritmus segítségével megpróbáljuk tovább növelni azok pontosságát (2. ábra). Ennek az algoritmusnak a bemutatása itt nem cél mivel az egy másik cikk része, de lényege, hogy a GNSS (Global Navigational Satellite System) pozíció adatokat (opcionálisan LIDAR alapú helymeghatározásból származó adatokat) és a jármű viselkedését/mozgását leíró egyéb szenzoradatok (gyorsulás, szögelfordulás, kormánysszög és sebességszenzor) felhasználva próbálja pontosítani a jármű pozíció adatait. Ezt elsősorban olyan útvonalak esetében érdemes alkalmazni, ahol nem elérhető folyamatosan az GNSS RTK (Real Time Kinematics) rendszer vagy a növényzetnek, magas épületeknek, esetleg az időjárásnak köszönhetően pontatlanok a mérések [4].

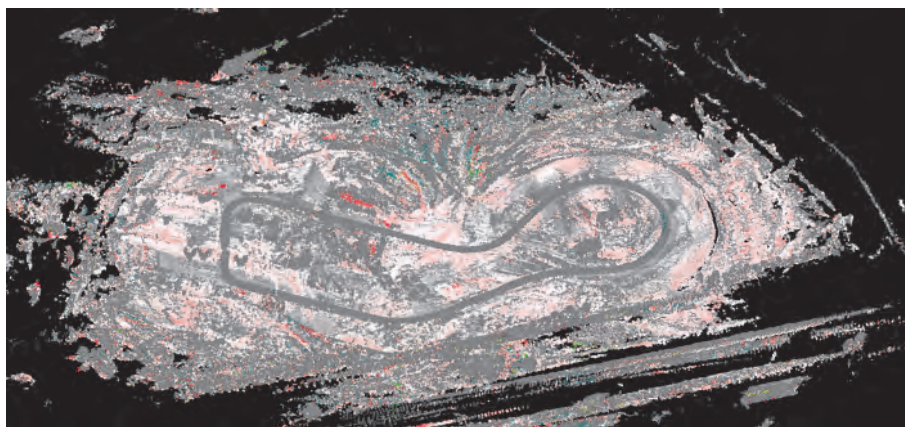


2. ábra. Pozíció adatok pontosítására szolgáló algoritmus működési elve

Ezután a pontosított pozíció adatok és a LIDAR adatok időbélyegei alapján a pozíció adatok interpolációja következik, megfelelő mintavételi idők esetében lineáris interpoláció is elegendő, de a GNSS adatok kis mintavételi sebessége, illetve nagyobb haladási sebességek esetén a tapasztalat alapján érdemes lehet másfajta interpolációs opciót választani.

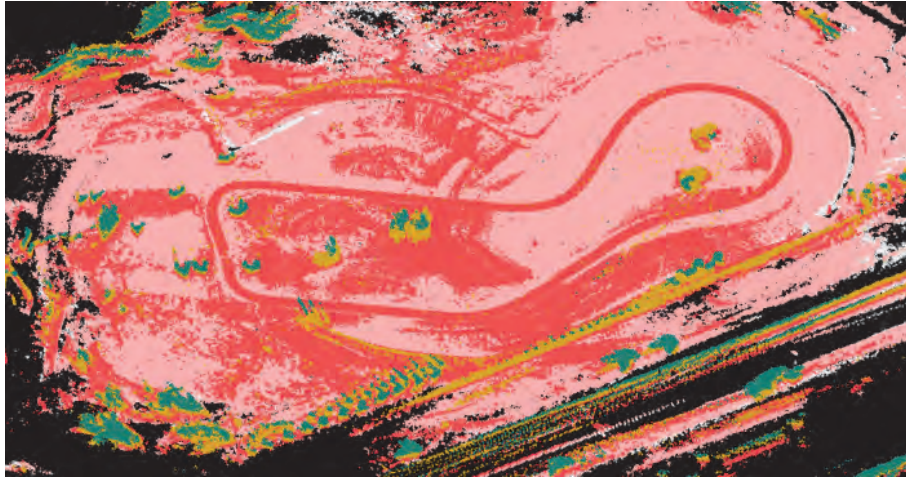
Az is fontos, hogy míg a LIDAR adatoknál kevésbé fontos a nagy mintavételi sebesség (mely az adatmennyiségek miatt is kritikus), addig a pozíció adatok esetében érdemes ezt a lehető legnagyobb értékre állítani, vagy a LIDAR-hoz szinkronizálni a GNSS adatok rögzítését.

Ezután már a különböző időpontokban rögzített pontfelhők egyesítése is megtörténhet, ugyanakkor A pontfelhők végső egyesítése előtt érdemes a pontok szűrését és színezését elvégezni annak érdekében, hogy a térkép szerkesztői felületeken könnyebben értelmezhető legyen a LIDAR adatokból ábrázolt pontfelhő. Ezt a magasság, távolság, zaj, intenzitás és reflexivitás értékeken alapuló szűrő állításával elérni. Az alábbi ábrán egy reflexivitás alapú színezés látható (3. ábra).



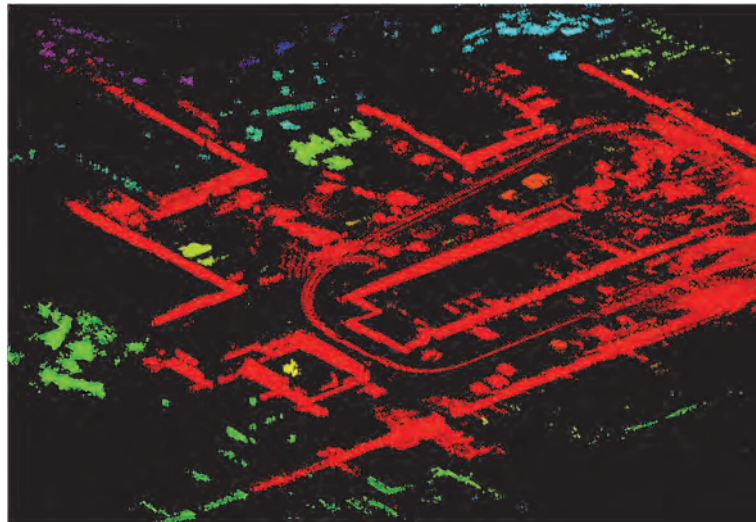
3. ábra. Példa reflexivitás alapú színezésre

Természetesen sok esetben kifizetődőbb a magasság alapú színezés, többek között olyan helyeken, ahol az intenzitás és reflexivitás értékekre való szűrés nehézkes, vagy sok hangolást igényel, illetve ott is érdemes ezt alkalmazni, ahol a magasságuk alapján jól elkülöníthetők az objektumok, például egy városi környezetben. A magasság alapú színezésre látható egy példa az alábbi ábrán (4. ábra).



4. ábra. Példa a magasság alapú színezésre

Sajnos általános érvényű szűrő értékeket nem lehet megadni, mivel azok a fényviszonyoktól, környezettől és még az útfelület anyagától is függhetnek. Ugyanakkor más előfeldolgozási eljárásokkal tovább növelhető az objektumok felismerhetősége, mint például a talaj/út eltávolítása stb. (5. ábra).

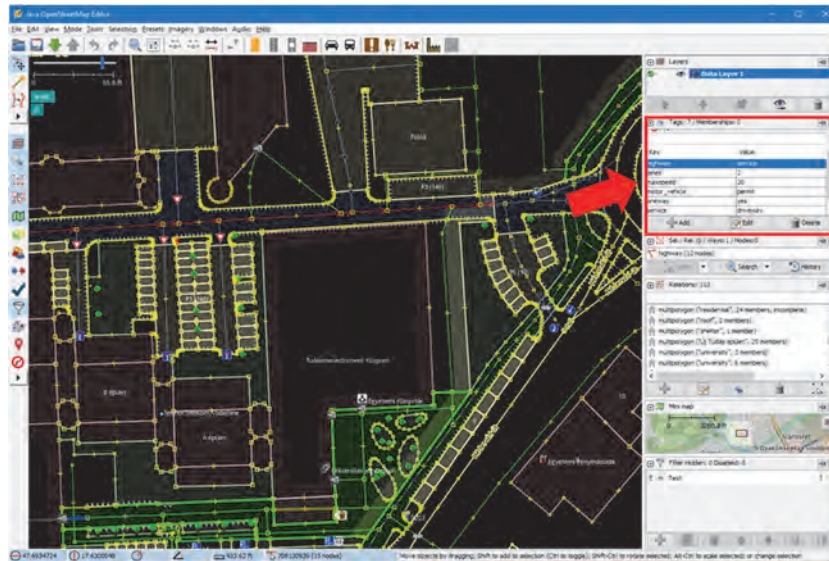


5. ábra. Példa az útfelület eltávolítására egy városi környezetben végrehajtott mérés esetében

4. Térképi adatok mentése és előfeldolgozása

A térképi adatok jelen esetben a nyílt forrású OpenStreetMap adatbázisból kerültek letöltésre. Ennek az adatbázisnak az előnye, hogy ingyenesen hozzáférhető, ugyanakkor nem mindenhol kellően pontos a szimulációs környezetekben történő felhasználáshoz, ugyanakkor mivel többnyire nem az útvonalak felépítésében, hanem azok pozíciójában vannak eltérések a valósághoz képest, így elég jó kiindulási alapot jelentenek [2]. További előny, hogy a pontosítások akár vissza is tölthetők az OpenStreetMap adatbázisba, mivel az adatbázis közösségi módon szerkeszthető.

Első lépésként le kell tölteni a központi adatbázisból a megfelelő térképrészletet, lehetőleg a legnagyobb felbontással. Erre a JOSM ingyenesen elérhető térképszerkesztő alkalmazást lehet több más szoftver mellett használni (6. ábra).



6. ábra. Térképi adatok letöltése és előzetes szerkesztése

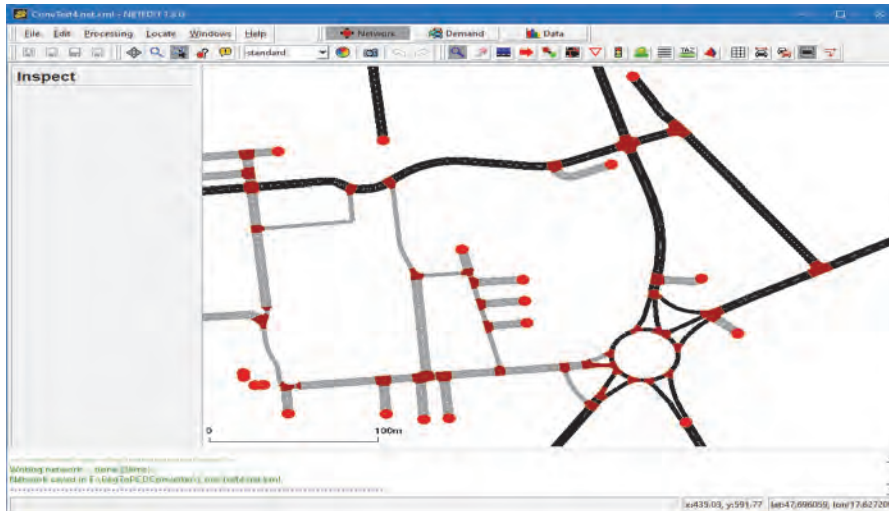
A letöltött adathalmaz számos, a szimulációk szempontjából irreleváns adatot tartalmaz, melyeket célszerű eltávolítani, ilyenek például a járdák és a kerékpárutak. A járdákat és kerékpárutakat azért is érdemes eltávolítani, vagy módosítani a tulajdonságaikat, mert ezek szintén meg fognak jelenni útvonalként, holott például Lanelet2 szempontjából inkább csak a gyalogos és kerékpár átkelők lehetnek lényegesek. Ezeken felül szükséges még az útvonal kategóriák (főútvonal, alacsonyrendű útvonalak) ellenőrzése is, mert ezek nem minden esetben bizonyultak helyesnek vagy aktuálisnak.

Ezeket a szerkesztéseket és módosításokat más összetettebb térképi szoftverrel is el lehet végezni többek között például a QGIS nevű térinformatikai alkalmazás felhasználásával is.

A térképi adatok a JOSM segítségével is szerkeszthetők, ugyanakkor komoly hátrány, hogy nem lehet beemelni a LIDAR adatokból leképezett PCD fájlkat. További hátrány, hogy a JOSM esetében OSM formátumba lehet menteni. Ezt a formátumot jelenleg azok az ingyenesen elérhető (és esetleg nyílt forráskódú) térképszerkesztők nem képesek beolvasni, amelyek a PCD adatok betöltésére és kézi térképszerkesztésre is alkalmasak. Ennek a problémának a megoldásához szükség van a térképi adatok más formátumba történő konvertálására [3].

5. Térképi adatok megfelelő formátumra hozása

Az OSM adatokat OpenDrive formátumra konvertáljuk, ugyanis ezt a legtöbb szimulációs program és szerkesztő alkalmazás, legalább betöltés szintjén képes kezelni. [1] Olyan program mely képes az OpenStreetMap (OSM) fájlok OpenDrive formátumba konvertálására és ingyenesen elérhető, például a SUMO nevű alkalmazás és a hozzá tartozó kiegészítő programok (7. ábra).



7. ábra. Térképi adatok letöltése és előzetes szerkesztése

Első lépésben betöltjük a NETEDIT programba az OSM fájlt, ennek segítségével grafikus felületen lehet beállítani a betöltési paramétereket.

Itt le lehet ellenőrizni, hogy az útvonalak helyesen lettek-e elmentve az OSM fájlba és megfelelően fognak-e betöltődni. Ugyanakkor innen nehézkes az OpenDrive formátumba mentés, erre célszerű a konzolos netconvert alkalmazást használni. Gyakorlati tapasztalat alapján a közvetlenül OSM fájlból mentés kevésbé eredményes, szemben az előzetesen NETEDIT alkalmazással történő feldolgozással és az OSM adatsor net.xml formátumú SUMO átalakítással. Ugyanakkor ennek az átalakításnak is van egy hátránya, mégpedig, hogy nem tartja meg az eredeti koordinátákat, hanem eltolja egy nulla központú lokális koordináta rendszerbe (8. ábra)

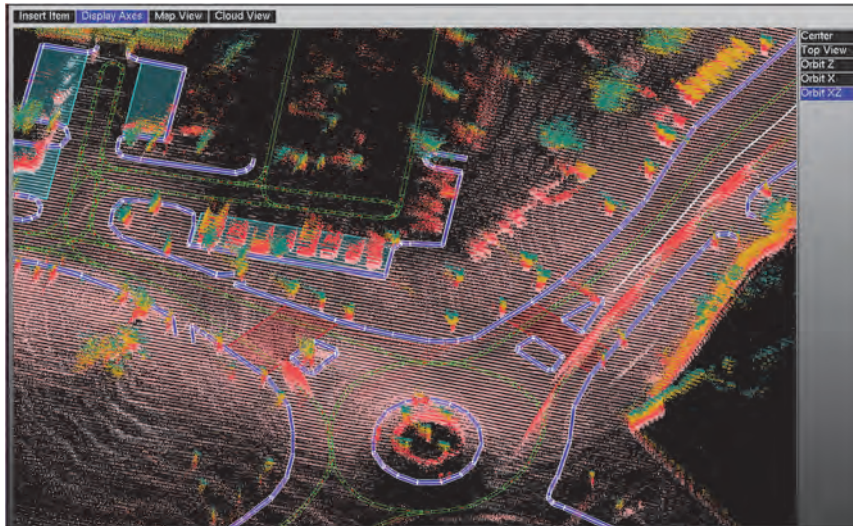
```
user@user-virtual-machine: ~/AssureMap
user@user-virtual-machine:~/AssureMap$ netconvert --sumo-net-file /home/user/AssureMap/Map/ConvTest4.net.xml --opendrive.import-all-lanes TRUE --opendrive-output /home/user/AssureMap/Map/ConvTest4.xodr
Warning: Environment variable SUMO_HOME is not set, schema resolution will use slow website lookups.
Warning: Environment variable SUMO_HOME is not set, using built in type maps.
Warning: Speed of straight connection '685976758_0->699288191_0' reduced by 5.01 due to turning radius of 14.35 (length=5.08, angle=36.50).
Warning: Could not write OpenDRIVE geoReference. Only unshifted Coordinate systems are supported (offset=-696684.86,-5285271.15)
Warning: Could not compute smooth shape from lane '121087460_0' to lane '-860112639#2_0'. Use option 'junctions.scurve-stretch' or increase radius of junction '1182880745' to fix this.
Warning: Could not compute smooth shape from lane '860112639#2_0' to lane '102432323_0'. Use option 'junctions.scurve-stretch' or increase radius of junction '1182880745' to fix this.
Success.
user@user-virtual-machine:~/AssureMap$
```

8. ábra. Adatkonverzió és figyelmeztetés a lokális koordináta rendszerbe történő eltolásra

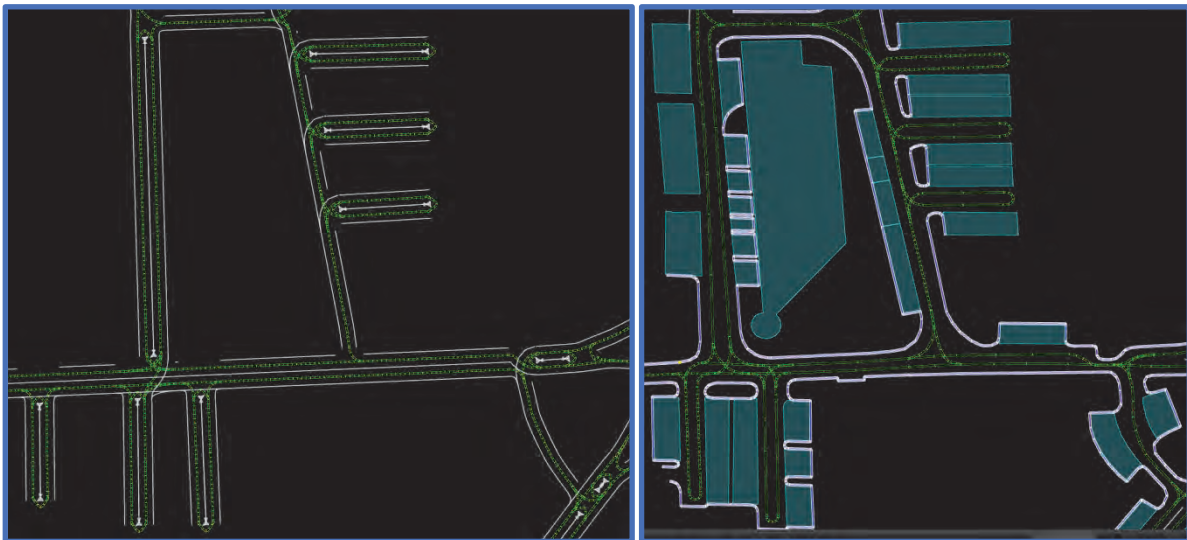
Ez abban az esetben lehet probléma, ha a PCD fájlok, melyek a LIDAR-os mérések alapján jöttek létre, globális koordináta rendszerbe kerültek elmentésre. Ezt a problémát egy saját LabVIEW program segítségével korrigáltuk. Ennek az előnye, hogy egyéb adatábrázolási és formátum korrekciókat, illetve átalakításokat is elvégezhetünk ezen a szinten.

6. Térképi adatok kézi pontosítása

A korábbiakban előálló adatok illetve OpenDrive (xodr) formátumú fájlok már szerkesztő szoftverek segítségével manuálisan pontosíthatók, felhasználva a LIDAR, a pozíció és a térképi adatokat. Ilyen szerkesztők többek között az ASSURE Mapping Tool és a Tier4 Map Editor. Az Assure Mapping Tool esetében lehetőség van egy OpenDrive fájl és PCD fájlok egyidejű betöltésére (9. ábra). Mivel alap esetben az OpenDrive fájl az OpenStreetMap adatok alapján lett létrehozva így tartalmazhat kisebb-nagyobb pontatlanságokat (pl. pozíció), melyeket manuálisan kell korrigálni.



9. ábra. PCD fájlok alapján történő Lanelet2 térkép szerkesztés Assure Mapping Tool-ban



10. ábra. Térképi adatok a kézi korrekciók előtt és után

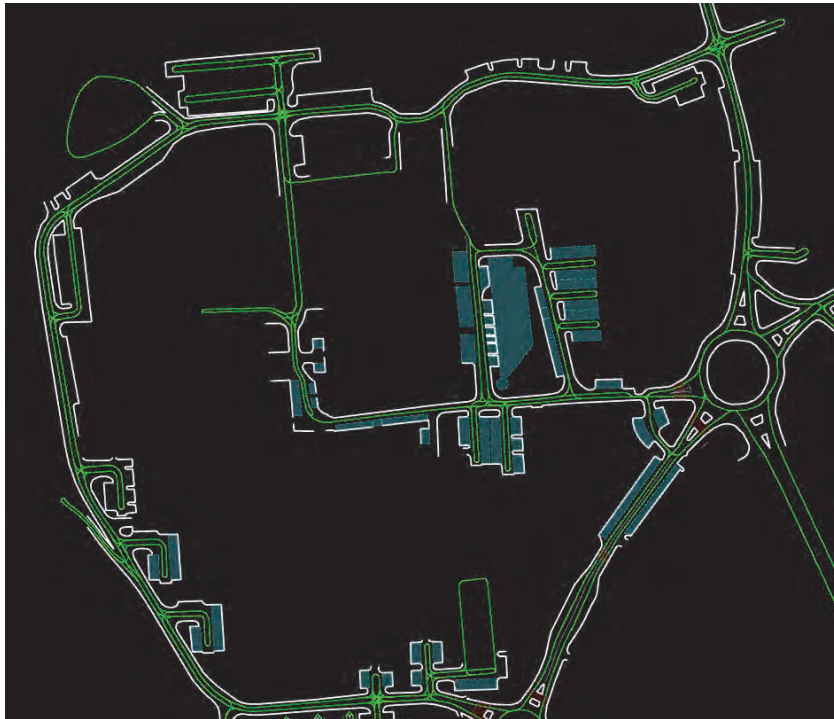
A korrekcióra jelen esetben elsősorban az ingyenesen elérhető AssureMapping Tools-ban került sor, mivel itt az útvonalak közötti kapcsolatok hatékonyabban definiálhatók, illetve lehetőség volt másfajta objektumok, mint például padkák és útjelzések lerakására, melyek a Lanelet2 esetében ugyan többnyire nincsenek értelmezve, ugyanakkor nagyban segítik az útvonalak pontosabb kiigazítását. Ennek további előnye, hogy amennyiben nem Lanelet2

hanem például KML formátumban mentjük el a térképet, akkor ezeknek az objektumoknak is van jelentősége [5].

Az Assure Mapping Tool egyik hátránya, hogyha például a győri régióhoz tartozó UTM33 formátumú vetületi rendszerben levő adatokat alkalmazunk, akkor az OSM kimentés vagy hibára fut vagy pedig nem fog megfelelő vetületi rendszert alkalmazni. Ennek a korrekciójára szintén egy saját LabVIEW programot alkalmazunk, mely képes a korrigálni ezt a problémát és szükség szerint tetszőleges eltolás értékeket alkalmazni az adatokon.

A Tier4 Editor alkalmazása a már létrehozott útvonalak és sávok szélességének meghatározására volt jól használható. Erre azért volt hatékonyabb a Tier4 programja, mert ott a sávok szélességét nemcsak számszerű adatként lehet megadni, hanem a sávok oldalpontjait külön is lehet mozgatni, nemcsak a sávközéppontokat. Ezen felül a Tier4 Editorban látszanak maguk a sávok is, nemcsak a szimbolikus sávvonalak, ahogy az Assure Mapping Tool-ban.

A fenti eljárást alkalmazva sikerült a győri egyetemi campus Lanelet2 térképét létrehozni, majd Autoware és DYNA4 programban kipróbálni működőképességét (11. ábra, 12. ábra).



11. ábra. A győri egyetemi campus Lanelet2 térképe



12. ábra. DYNA4 szimuláció az épületek nélkül

Az egyetlen probléma a DYNA4 vagy CarMaker alkalmazásban történő felhasználásnál, hogy azok jelenleg OpenDrive formátumú térképek betöltésére képesek OpenStreetMap formátumúakra nem, ezért szükség van egy konverzióra mivel sem az Assure Mapping Tool sem pedig Tier4 Editor nem képes jelenleg OpenDrive formátumba menteni. Erre a célra az LGSVL alkalmazást használtuk, mivel abban is szerettük volna felhasználni a térképeket, illetve annál lehetőség van OpenDrive formátumba menteni a térképi adatokat.

7. Összefoglalás

Sikerült megvizsgálni, hogy hogyan lehet kellő pontosságú pályamodelleket létrehozni lehetőleg nyílt forrásból származó adatok segítségével, annak érdekében, hogy a környezet modellezési és szimulációs feladatok gyorsabban elvégezhetőek legyenek és a létrehozott modellek a lehető legpontosabban közelítsék a valóságot.

A létrehozott pályamodelleket emellett felhasználtuk és kipróbáltuk különböző kereskedelmi célú és ingyenes szimulációs környezetekben is, mint például: Autoware, LGSVL, Vector DYNA4.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001 „Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén” pályázat keretében valósult meg a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében.

A publikációban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal is támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] Dupius M., Strobl M., Grezlikowski H.: OpenDRIVE 2010 and beyond – status and future of the de facto standard for the description of road networks, *Proceedings of the Driving Simulation – Conference Europe 2010*, 2010. pp. 231-242 [SEP]ISBN 978-2-85782-685-9
- [2] Despine G., Baillard M.: Realistic Road Modelling for Driving Simulators using GIS Data, *Advances in Cartography and GIScience. Volume 2: Selection from ICC 2011*, 2011. pp. 431-448 [SEP]DOI: 10.1007/978-3-642-19214-2_29
- [3] Richter A., Fischer M., Frankiewicz T., Schnieder, L., Köster F.: Reducing the gap between simulated and real life environments by introducing high-precision data, *Driving Simulator Conference 2015 Europe*, 16.-18. Sep. 2015, Tübingen, Germany. ISBN 978-3-9813099-3-5.
- [4] Over M., Schilling A., Neubauer S., Zipf A.: Generating web-based 3D City Models from OpenStreetMap: The current situation in Germany, *Computers, Environment and Urban Systems* 34, 2010, pp. 496–507.
- [5] F. Poggenhans et al., "Lanelet2: A high-definition map framework for the future of automated driving," *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2018, pp. 1672-1679, doi: 10.1109/ITSC.2018.8569929.

Akadályelkerülés: a koncepciótól a megvalósításig

Obstacle avoidance: from concept to a practical example

Miklós Unger^a, Claudiu Pozna^b, Ernő Horváth^c

^aSzéchenyi István University, Győr, Hungary
unger.mikos@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István University, Győr, Hungary and Transylvania University, Brasov, Romania
pozna@sze.hu

^cSzéchenyi István University, Győr, Hungary
hernó@ga.sze.hu

Absztrakt: Az akadályelkerülés az autonóm járműirányítás egyik leglátványosabb, a valós életben egyik legjobban szemléltethető feladata, amellyel már sokan foglalkoztak korábban is. A tématerülettel foglalkozó algoritmusok célja, hogy a valamilyen módon előre meghatározott (globális terv vagy előre felvett) útvonalat módosítsa valamilyen logika szerint, ha azon a környezetérzékelő szenzorok valamilyen objektumot, azaz akadályt észlelnek. A mi algoritmusunk az akadályészleléshez az Euklideszi klaszterezést használja fel, amely szegmentálja a talajszűrően átesett 3D pontfelhőt és a környezetben található objektumokat poligon formában írja le. Ezt a környezet reprezentációt felhasználva, ha az algoritmusunk úgy érzékeli, hogy a jövőben ütközne a detektált objektumok valamelyikével, akkor egy trapéz alakú elkerülő manővert hoz létre melyet könnyen le lehet követni valamely lekövető algoritmus segítségével.

Kulcsszavak: akadályelkerülés, trapéz, 3D LIDAR

Abstract: The obstacle avoidance is one of the most spectacular field of the autonomous vehicle control and it also can be demonstrated in the real word easily. The goal of the algorithms of this field is to modify the original (global or previously recorded) trajectory with some kind of logic in the case of the environment sensors detect any objects or obstacles on the original trajectory. Our algorithm uses the Euclidean cluster detection for object detection which uses the ground filtered 3D pointcloud as input and gives us groups of pointclouds as polygons as an output. With the help of the polygons our algorithm creates a trapezoid shaped maneuver which can. be followed by any path follower algorithm in that case if the algorithm senses that our vehicle would collide with any of the detected objects in the future.

Keywords: Obstacle avoidance, trapezoid, 3D LIDAR

1. Introduction

The Bicycle Model (BM) is a common kinematics model which describes the car-like robots [1] [2]. The vehicle or robot in that case has four wheels where the change of direction is achieved by rotating the front wheels. This kinematic simplification is suitable for our current purposes, which is less than 35 km/h speed.

Obstacle avoidance [3] can be done many ways, from our perspective the important ones are potential field [4] elastic band [5] approaches. Potential field approaches represent the map of the scenario as a continuous field of attractive and repulsive forces. The goals virtually attracts and the obstacles repulses the vehicle, so there is need to optimize the trajectory. The elastic

band approach relies on a continuous band, which is a curve a vehicle needs to follow. There are rules how the band can be curved and smoothed and thus this approach is usually more time-consuming solution than e.g. B-Spline.

2. Our solution

When we started to take up with the obstacle avoidance topic our goal was to create an algorithm for an easy task which the avoidance of a static object which is on our original path. Our new goal is to develop this method further to be capable of more complex tasks too. We implemented a code for autonomous vehicles and used 3D LIDAR for object detection.

In order to describe the problem and our solution some basic definitions need to be stated. There are two main coordinate systems (frames) which describe the problem. The first one is the Ego car's coordinate system, also known as the local $\{E\}$ referential frame, which moves with the vehicle's `base_link`. The `base_link` is defined as the center of the rear axle. The second is the global $\{O\}$ frame, which is the map in a meter-based Universal Transverse Mercator (UTM) coordinate system. This approach is illustrated in Figure 1.

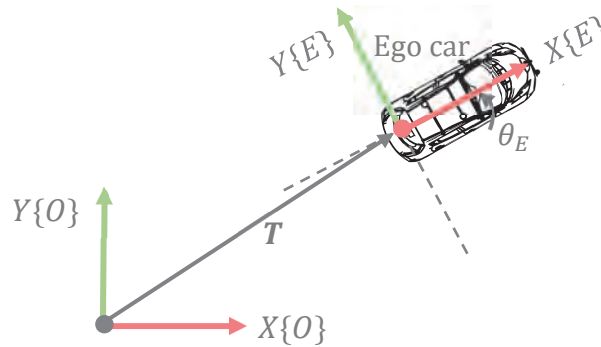


Figure 1. The global $\{O\}$ and the local $\{E\}$ referential frames

The path (P) consists of X_k points as follows:

$$P = \left\{ X_k \mid X_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ v_k \\ \theta_k \end{bmatrix} \right\} \quad (1)$$

Here x_k and y_k are the coordinates, v_k is the velocity and θ_k is the desired orientation. This is illustrated in Figure 2. After that transforms between the referential frames can be defined as follows.

$$X_k = {}^O T_E \cdot {}^E X_k \quad (2)$$

$${}^E X_k = {}^E T_O \cdot X_k \quad (3)$$

$${}^O T_E = \begin{bmatrix} R_Z(\theta_E) & t_E \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; R_Z(\theta_E) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; t_E = \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Which gives:

$${}^O_T = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & x_E \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & y_E \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

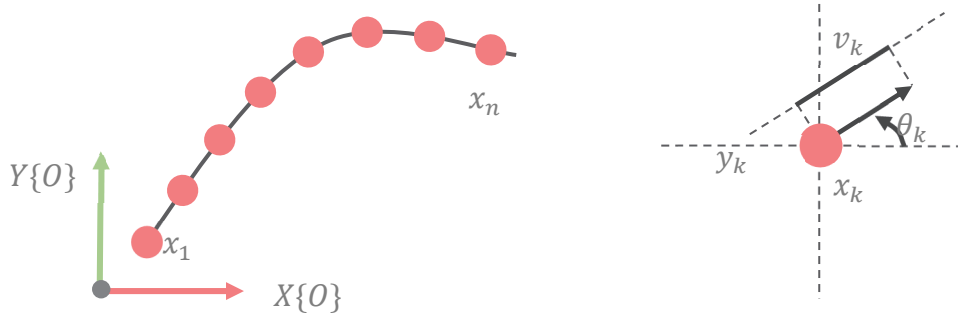


Figure 2. The waypoint array in the global $\{O\}$ frame

The steps of the algorithm

- As the first step of the algorithm for our vehicle, original path (P) is recorded and saved it as waypoints. The waypoints are the description of our path in discrete time (see Figure 2). Our original path has $n \in \mathbb{Z}$ waypoints and every waypoint have position in xy and orientation in yaw $[\theta]$ from the GPS and the waypoints also have information about the actual velocity from the vehicle's CAN network. It is important to know that the distances between two waypoints are not equal, they depend on the velocity of the vehicle.
- As the second step we placed an object near to our original path and tuned the Autaware's ray ground filter for ground removal and the Euclidean cluster detect to form groups from the filtered point cloud. The Euclidean cluster detector node detect the objects of environment and creates polygons with diverse number of points in the LIDARs coordinate system for each clusters or groups. We call the output of the node **detected objects**.
- The waypoints are in global coordinates, in the $\{O\}$ frame. It is needed transform the detected objects to the global coordinate system. In ROS we can do this as the relations between the LIDARs frame and map frame are stored in a topic named $/tf$. Generally, the O_T transform can be used.

At that point we know the important dimensions of the vehicle (width, length, and the position of the rear axle as the origin of base_link) for a footprint model. We know our current position in UTM, and we know the points of the detected objects also in UTM.

- a) We compute the closest waypoint respect to the current_pose and with a given lookahead we iterate the footprint model over positions of the original waypoints and examine that if our vehicle would collide any of the detected objects in the future. If the

size of the detected object is not too small and the distance between two original waypoints not too big, we would get that the vehicle would collide in multiple waypoints. So, we will get a list of waypoint's ids every time this iteration happens, and we also know the id of the detected objects which our vehicle would collide. And we know the coordinates of the middle point of the detected object (polygon), and we compute that which waypoint is the closest of it.

- b) For the avoidance of the detected object, we implemented a trapezoid shape avoidance method. This trapezoid has multiple parameters (see Figure 3). We wrote a function which modifies the positions of the original waypoints. Offset the waypoints proportionally. We need only the start waypoint as an input which can be computed from the middle point of the detected object.

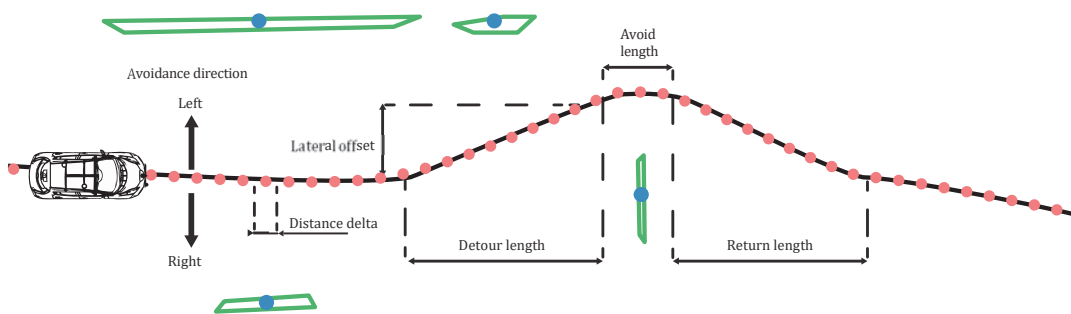


Figure 3 - The parameters of the trapezoid shape (data from real-word example). The detected objects are green, and the middle points are blue, the waypoints are red

3. Conclusion

Our method is currently suitable for the avoidance of a single static object, but we have the intention to develop the algorithm for more complex tasks in the future. We would like to make it suitable for the avoidance of multiple objects. Also, we would like to use a roadside detector algorithm to define the drivable space in front of the car. Another development would be the avoidance of detected road bumps instead of objects on the road.

4. Acknowledgement

The research presented in this paper was carried out as part of the “Talent Management in Autonomous Vehicle Control Technologies (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” project in the framework of the New Széchenyi Plan. The completion of this project is funded by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

References

- [1] L. Krammer, "Motion Planning for Car-like Robots," Technische Universität Wien, 2010.
- [2] S. Thrun, W. Burgard and D. Fox, Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents), The MIT Press, 2005.
- [3] V. Kunchev, L. Jain, V. Ivancevic and A. Finn, "Path planning and obstacle avoidance for autonomous mobile robots: A review," in *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, Berlin, 2006.
- [4] M. G. Park, J. H. Jeon and M. C. Lee, "Obstacle avoidance for mobile robots using artificial potential field approach with simulated annealing," in *International Symposium on Industrial Electronics*, Pusan, South Korea, 2001.
- [5] S. Quinlan and O. K. Khatib, "Elastic bands: connecting path planning and control," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Atlanta, 1993.

Modell alapú helykoordináta pontosítás Kálmán-szűrővel

Model-based Coordinate Accuracy Improvement with Kalman Filter

Medve Hunor^a, Dr. Enisz Krisztián^b, Dr. Fodor Dénes^c

^aPannon Egyetem, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
medve.hunor@mk.uni-pannon.hu

^bPannon Egyetem, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
eniszk@almos.uni-pannon.hu

^cPannon Egyetem, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
fodor@almos.uni-pannon.hu

Absztrakt: Az autonóm jármű és fejlett vezetéstámogató rendszerek hatékonysága számos esetben növelhető a gépjármű pontos pozíciójának ismeretében, az autonóm funkció számára pedig kulcs fontosságú a helyadatok megléte. A legtöbb navigációs azaz GNSS (Global Navigation Satellite Systems) rendszer kellően pontos mindaddig, amíg megfelelően rálát a műholdakra, illetve rendelkezésre állnak olyan kiegészítő szolgáltatások mint például az DGNSS (Differential GNSS), SBAS (Satellite-based Augmentation Systems), RTK (Real-Time Kinematic (RTK) Positioning) és PPP (Precise Point Positioning). Ugyanakkor ezeknek a rendszereknek a működéséhez többségében elérhetőnek kell lennie a pozíció pontosítására szolgáló adótornyoknak. A lehetséges problémákat szem előtt tartva célunk volt egy olyan lokalizációs algoritmus kidolgozása mely a hálózat kimaradások, vagy a különböző szolgáltatások hiánya esetén képes a rosszabb „minőség” GNSS adatok pontosítására, a műhold kapcsolat elvesztése esetén a helyadatok akár percekig történő szolgáltatására. A célok megvalósításához egy kiterjesztett Kálmán-szűrőn alapuló pozíció becslő eljárást dolgoztunk ki, mely a jármű szenzorjai alapján képes a meglévő pozíció adatok pontosítására vagy a helyadatok hiányában azok becslésére.

Kulcsszavak: helymeghatározás, egyenymvonalú jármű modell, kiterjesztett Kálmán szűrő

Abstract: In many cases, the efficiency of autonomous vehicles and advanced driver assistance systems can be increased by knowing the exact position of the vehicle, and the availability of position data is key to autonomous functionalities. Most navigation systems, i.e. GNSS (Global Navigation Satellite Systems), are sufficiently accurate as long as they have a good reception of the satellite signals and additional services such as DGNSS (Differential GNSS), SBAS (Satellite-based Augmentation Systems), RTK (Real-Time Kinematic (RTK) Positioning) and PPP (Precise Point Positioning) are available. However, most of these systems require the availability of positioning towers for their operation. Keeping in mind the potential problems, our goal was to develop a localisation algorithm capable of providing position data in the event of network outages or lack of various services, and to provide "lower quality" GNSS data in the event of loss of satellite connectivity, up to minutes. To achieve these goals, we developed an extended Kalman filter-based position estimation procedure, which is able to estimate the existing position data based on the vehicle sensors, or to estimate the position in the absence of position data.

Keywords: localisation, single-track vehicle model, extended Kalman filter

1. Bevezetés

Napjaink autonóm és fejlett vezetéstámogató rendszerei számára az egyik legfontosabb adat a jármű pontos pozíciója. Az elérhető helymeghatározó eszközök pontossága az elmúlt években fokozatosan javult. Már a hagyományos műholdas meghatározási rendszerekkel (GNSS - Global Navigation Satellite Systems), összetett korrekciós rendszer nélkül is 10 m közeli pontosságot lehet elérni.

A különböző korrekciós technikákkal, például rögzített bázisállások segítségével a hagyományos „klasszikus” differenciális GNSS (DGNSS – Differential Global Navigation Satellite Systems) rendszerekkel már akár 1 m körüli pontosság is elérhető csakúgy mint a SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems) rendszerek segítségével [1]. Az RTK (Real-Time Kinematic (RTK) Positioning) és PPP (Precise Point Positioning) eljárások segítségével pedig további jelentős javulás érhető el, azok előnyeivel és hátrányaival együtt.

Ugyanakkor mivel mindegyik eljárás vezeték nélküli kommunikációt alkalmaz az adatátvitelhez, ezért a környezeti zavarások, vagy ideiglenes technológiai hibáknak köszönhetően előfordulhat, hogy nem érhetőek el pozíció adatok vagy nem kellően pontosak, így szükség van olyan pozíció meghatározási rendszerekre, melyek képesek áthidalni ezeket az ideiglenes kimaradásokat és képes megfelelő pontosságú pozíció adatokat szolgáltatni.

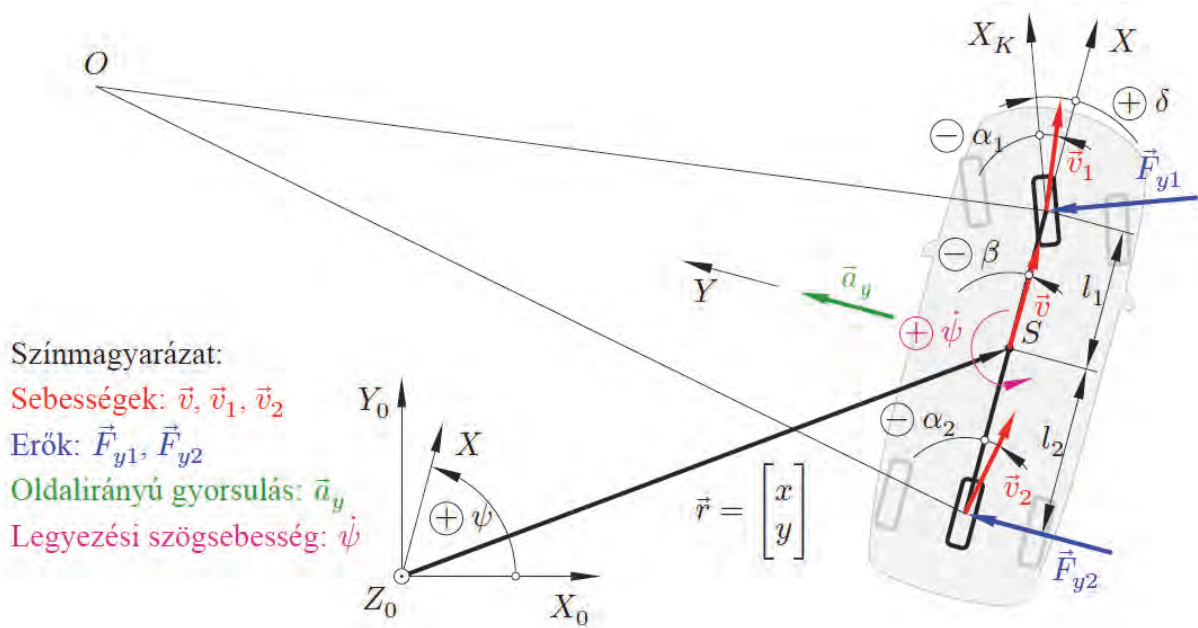
2. Alkalmazott módszertanok

A pozíció becslés megvalósításához egynyomvonalú jármű modellen alapuló becslő eljárást ötvöztünk egy kinematikai modellen alapuló becslő eljárással. Mind a dinamikai mind a kinematikai eljárás esetében a becslét egy kiterjesztett Kálmán-szűrő segítségével valósítottuk meg. A különböző eljárások között a mintavételezési idő, a sebesség és szenzorjelek kovarianciája alapján kapcsol az algoritmus.

2.1. Egynyomvonalú járműmodell

Az egynyomvonalú járműmodell (angolul: single track model) egy négykerekű jármű egyszerűsített modellje és a jármű síkban történő oldalirányú mozgásainak leírására szolgál [2]. A kezelhetőség végett rengeteg egyszerűsítést és elhanyagolást tartalmaz, leglényegesebb és legszemléletesebb ezek közül a jármű hosszirányú középtengelyében összevont jobb- és baloldali kerekek.

Megkülönböztetünk helyhez kötött $X_0Y_0Z_0$ koordinátarendszert és járműhöz kötött XYZ koordinátarendszert. A járműhöz kötött koordinátarendszer középpontja a jármű tömegközéppontja. Tekintve, hogy az egynyomvonalú járműmodell célja a jármű oldalirányú síkmozgásainak leírása, így az elemzés (és a modell) tárgyát alkotó mennyiségeket, minden járműre ható erőt és kapcsolódó szöveget az X_0Y_0 síkban elemzünk, pontosabban ezek X_0Y_0 síkra eső vetületeit, ezáltal elhanyagolva a bólintást és a dőlést, tehát az Y_0 és az X_0 tengelyek körüli dinamikát. A legyezést, a Z_0 tengely körüli dinamikát a legyezési szög ψ és a legyezési szögsebesség $\dot{\psi}$ mennyiségen keresztül tudjuk leírni (1. ábra).



1. ábra. Az egynyomvonalú járműmodell legfontosabb mennyiségei

A modell kiindulási pontja az oldal irányú erő egyenlet és a tömegközépponton átmenő z_j tengelyre felírt nyomatékegyenlet ((1), (2)):

$$ma_y = F_{y1}(\alpha_1) + F_{y2}(\alpha_2) \quad (1)$$

$$\Theta_{zz}\dot{\psi} = F_{y1}(\alpha_1)l_1 + F_{y2}(\alpha_2)l_2 \quad (2)$$

A behelyettesítések, egyszerűsítések, linearizációk és átrendezés után az egyenletek ((3), (4)):

$$\frac{d\beta}{dt} = -\frac{c_1 + c_2}{m v} \beta + \left(\frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{m v^2} - 1 \right) \dot{\psi} + \frac{c_1}{m v} \delta \quad (3)$$

$$\frac{d\dot{\psi}}{dt} = \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{\Theta_{zz}} \beta - \frac{c_1 l_1^2 + c_2 l_2^2}{v \Theta_{zz}} \dot{\psi} + \frac{c_1 l_1}{\Theta_{zz}} \delta \quad (4)$$

A fenti egyenletek segítségével a β úszási szög és a $\dot{\psi}$ legyezési szögsebesség számítható, ahol a jármű paraméterei a következők: m a jármű tömege, c_1 és c_2 kanyarmerevségek, l_1 és l_2 a tengelyek tömegközépponttól vett távolságai, Θ_{zz} a Z tengely körüli tehetetlenségi nyomaték és v a jármű haladási sebessége. A δ kormányaszög mindkét egyenletben bemenetként tűnik fel.

2.2. Kiterjesztett Kálmán-szűrő

A kiterjesztett Kálmán-szűrő nemlineáris rendszerek állapotmegfigyelésére, állapotbecslésére alkalmas algoritmus. A kiterjesztett (extended) változat az elsőként publikált lineáris Kálmán-szűrőre alapul. A fő alapelve, hogy a nemlineáris rendszert egy adott munkapontban Taylor-sorba fejtéssel linearizálja [3].

A nemlineáris rendszer állapotait és kimeneteit leíró diszkrét egyenletek ((5), (6)):

$$\underline{x}_k = \underline{f}_{k-1}(\underline{x}_{k-1}, \underline{u}_{k-1}, \underline{p}_{k-1}) \quad (5)$$

$$\underline{y}_k = \underline{h}_k(\underline{x}_k, \underline{m}_k) \quad (6)$$

ahol \underline{x} az állapotvektor, f a nemlineáris rendszer függvény, \underline{u} a bemenetvektor, \underline{y} a kimenetvektor, h a nemlineáris kimeneti függvény, \underline{p} és \underline{m} normális eloszlású nulla várható értékű zajvektorok (7):

$$\underline{p}_k \sim \mathcal{N}(\underline{0}, \underline{Q}_k) \text{ és } \underline{m}_k \sim \mathcal{N}(\underline{0}, \underline{R}_k) \quad (7)$$

Az állapotegyenlet az $\hat{\underline{x}}_{k-1}^+$ előző a posteriori becsült állapot, az \underline{u}_{k-1} bemenet és a $\underline{p}_{k-1} = \underline{0}$ pont körüli Taylor-sorba fejtéssel linearizálható az állandó és a lineáris tagokat megtartva:

$$\underline{x}_k \approx \underline{f}_{k-1}(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{u}_{k-1}, \underline{0}) + \underline{F}_{k-1}(\underline{x}_{k-1} - \hat{\underline{x}}_{k-1}^+) + \underline{L}_{k-1}\underline{p}_{k-1} \quad (8)$$

Az állapotegyenlet Jacobi-mátrixai, melyek az állapotvektor és zajvektor egyes elemei szerinti parciális derivált mátrixok:

$$\underline{F}_{k-1} = \left. \frac{\partial \underline{f}_{k-1}}{\partial \underline{x}_{k-1}} \right|_{(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{u}_{k-1}, \underline{0})} \quad \text{és} \quad \underline{L}_{k-1} = \left. \frac{\partial \underline{f}_{k-1}}{\partial \underline{p}_{k-1}} \right|_{(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{u}_{k-1}, \underline{0})} \quad (9)$$

A linearizált állapotegyenletet átrendezve:

$$\underline{x}_k \approx \underline{F}_{k-1}\underline{x}_{k-1} + \overbrace{\left[\underline{f}_{k-1}(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{u}_{k-1}, \underline{0}) - \underline{F}_{k-1}\hat{\underline{x}}_{k-1}^+ \right]}^{\tilde{\underline{u}}_{k-1}} + \overbrace{\underline{L}_{k-1}\underline{p}_{k-1}}^{\tilde{\underline{p}}_{k-1}} \quad (10)$$

Az egyenlet tovább egyszerűsíthető a jelölt tagok összevonásával $\tilde{\underline{u}}_{k-1}$ -be és $\tilde{\underline{p}}_{k-1}$ -be, ahol:

$$\tilde{\underline{p}}_k = \sim \mathcal{N}(\underline{0}, \underline{L}_k \underline{Q}_k \underline{L}_k^T) \quad (11)$$

A kimeneti egyenlet Jacobi-mátrixai:

$$\underline{H}_k = \left. \frac{\partial h_k}{\partial \underline{x}_k} \right|_{(\hat{\underline{x}}_k^-, \underline{0})} \quad \text{és} \quad \underline{M}_{k-1} = \left. \frac{\partial h_k}{\partial \underline{m}_k} \right|_{(\hat{\underline{x}}_k^-, \underline{0})} \quad (12)$$

A kimeneti egyenlet az $\underline{x}_k = \hat{\underline{x}}_k^-$ a priori állapotbecslés és az $\underline{m}_k = \underline{0}$ pont körüli Taylor-sorba fejtéssel linearizálható. A linearizált megfigyelési egyenlet a Jacobi-mátrixok behelyettesítése után átrendezhető és egyszerűsíthető:

$$\underline{y}_k = \underline{H}_k \underline{x}_k + \overbrace{\left[h_k(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{0}) - \underline{H}_k \hat{\underline{x}}_{k-1}^+ \right]}^{\tilde{\underline{y}}_k} + \overbrace{\underline{M}_k \underline{m}_k}^{\tilde{\underline{m}}_k} \quad (13)$$

Az egyenlet tovább egyszerűsíthető a jelölt tagok összevonásával $\tilde{\underline{y}}_k$ -ba és $\tilde{\underline{m}}_k$ -ba, ahol:

$$\tilde{\underline{m}}_k = \sim \mathcal{N}(\underline{0}, \underline{M}_k \underline{R}_k \underline{M}_k^T) \quad (14)$$

A lineáris Kálmán-szűrőhöz hasonlóan az algoritmus minden diszkrét időpillanatban itt is egy predikciós (a priori) és egy korrekciós (a posteriori) lépésből áll. A predikciós lépés egyenletei a következők, az ehhez a lépéshez tartozó értékeket és változókat a „-” felsőindex jelzi:

$$\hat{\underline{x}}_k^- = f(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{u}_{k-1}, \underline{p}_{k-1}) \quad (15)$$

$$\underline{P}_k^- = \underline{F}_k \underline{P}_{k-1}^+ \underline{F}_k^T + \underline{L}_k \underline{Q}_k \underline{L}_k^T \quad (16)$$

A korrekciós lépés egyenletei alább találhatóak, ezek része a Kálmán erősítés \underline{K}_k kiszámítása is. A korrekciós lépéshez tartozó értékeket a „+” felsőindex jelzi:

$$\underline{K}_k = \underline{P}_k^- \underline{H}_k^T \left(\underline{H}_k \underline{P}_k^- \underline{H}_k^T + \underline{M}_k \underline{R}_k \underline{M}_k^T \right)^{-1} \quad (17)$$

$$\hat{\underline{x}}_k^+ = \hat{\underline{x}}_k^- + \underline{K}_k \left(\underline{y}_k - \underline{h}_k(\hat{\underline{x}}_k^-, \underline{u}_k, \underline{m}_k) \right) \quad (18)$$

$$\underline{P}_k^+ = \left(\underline{I} - \underline{K}_k \underline{H}_k \right) \underline{P}_k^- \quad (19)$$

Amennyiben az \underline{F}_k , \underline{H}_k , \underline{L}_k és \underline{M}_k Jacobi-mátrixok elemei nem állandók, minden diszkrét időpillanatban újra kell számítani az értékeket.

3. Dinamikai modellen alapuló becslő eljárás

A dinamikai modellen alapuló becslő eljárás kidolgozásakor a kiindulási állapot az egynyomvonalú járműmodell és a hozzátartozó differenciál egyenletek képezték, azaz a szűrő állapotvektora ez alapján került felírásra

$$\underline{x}^T = [\beta \quad \dot{\psi} \quad \psi \quad x \quad y] \quad (20)$$

ahol:

$$\frac{d\beta}{dt} = -\frac{c_1 + c_2}{m v} \beta + \left(\frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{m v^2} - 1 \right) \dot{\psi} + \frac{c_1}{m v} \delta \quad (21)$$

$$\frac{d\dot{\psi}}{dt} = \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{\Theta_{zz}} \beta - \frac{c_1 l_1^2 + c_2 l_2^2}{v \Theta_{zz}} \dot{\psi} + \frac{c_1 l_1}{\Theta_{zz}} \delta \quad (22)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \dot{\psi} \quad (23)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \cos(\beta + \psi) \quad (24)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \sin(\beta + \psi) \quad (25)$$

A Kálmán-szűrő kimeneti egyenleteit nagyban meghatározták a rendelkezésre álló mérések, vagy az adott rendszer esetén a hozzáférhető és mérhető mennyiségek:

$$\underline{y}^T = [\dot{\psi} \quad \psi \quad a_y \quad x \quad y] \quad (26)$$

A diszkrét idejű kiterjesztett Kálmán-szűrő az a priori, vagy predikciós lépésének része a \underline{P}_k^- a priori, vagy predikciós becslés hibáinak szórásnégyzeteit tartalmazó kovariancia mátrix számítása. Ehhez szükség van a nemlineáris rendszer állapotegyenletét adott munkapontban linearizáló \underline{F} Jacobi-mátrix diszkrét formáira. A parciális deriválások elvégzése után a következőket kapjuk:

$$\underline{\underline{F}}_{k-1} = \left. \frac{\partial f_{k-1}}{\partial \underline{x}_{k-1}} \right|_{(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{u}_{k-1}, 0)} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{c_1 + c_2}{m v_{k-1}} T_s & \left(\frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{m v_{k-1}^2} - 1 \right) T_s & 0 & 0 & 0 \\ \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{\Theta_{zz}} T_s & 1 - \frac{c_1 l_1^2 + c_2 l_2^2}{v_{k-1} \Theta_{zz}} T_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & T_s & 1 & 0 & 0 \\ -v_{k-1} T_s \sin(\phi) & 0 & -v_{k-1} T_s \sin(\phi) & 1 & 0 \\ v_{k-1} T_s \cos(\phi) & 0 & v_{k-1} T_s \cos(\phi) & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

A \underline{h}_k kimeneti függvény az állapot- és mérési egyenletek alapján:

$$\underline{h}_k(\hat{\underline{x}}_k^-, \underline{u}_k, \underline{m}_k) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{c_1 + c_2}{m} & \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{m v_{k-1}} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_k^- \\ \hat{\psi}_k^- \\ \hat{\psi}_k^- \\ \hat{x}_k^- \\ \hat{y}_k^- \end{bmatrix} \quad (28)$$

A \underline{h}_k kimeneti függvény alapján felírt \underline{H}_k Jacobi-mátrix pedig a következő:

$$\underline{\underline{H}}_k = \left. \frac{\partial \underline{h}_k}{\partial \underline{x}_k} \right|_{(\hat{\underline{x}}_k^-, 0)} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{c_1 + c_2}{m} & \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1}{m v_{k-1}} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

4. Kinematikai modellen alapuló becslő eljárás

A kinematikai modell esetében a kiindulási állapot a kinematikai egyenletek és a szenzorok által mérhető értékek adták, melyek alapján a következő állapotvektora került felírásra

$$\underline{x}^T = [v_x \quad v_y \quad x \quad y \quad \psi] \quad (30)$$

ahol:

$$\frac{dv_x}{dt} = a_x \quad (31)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = a_y \quad (32)$$

$$\frac{dx}{dt} = v_x \cdot \cos(\psi + \beta) \quad (33)$$

$$\frac{dy}{dt} = v_y \cdot \sin(\psi + \beta) \quad (34)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \dot{\psi} \quad (35)$$

A fenti egyenletek alapján felírható a $\underline{\underline{F}}$ Jacobi-mátrix diszkrét formája:

$$\underline{\underline{F}}_{k-1} = \left. \frac{\partial \underline{f}_{k-1}}{\partial \underline{x}_{k-1}} \right|_{(\hat{\underline{x}}_{k-1}^+, \underline{u}_{k-1}, \underline{0})} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ T_s \cos(\psi_{k-1} + \beta_{k-1}) & 0 & 1 & 0 & -T_s v_{x,k-1} \sin(\psi_{k-1} + \beta_{k-1}) \\ 0 & T_s \sin(\psi_{k-1} + \beta_{k-1}) & 0 & 1 & T_s v_{y,k-1} \cos(\psi_{k-1} + \beta_{k-1}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

A \underline{h}_k kimeneti függvény az állapot- és mérési egyenletek alapján:

$$\underline{h}_k(\hat{\underline{x}}_k^-, \underline{u}_k, \underline{m}_k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{tg\beta}{l_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{v}_{x,k}^- \\ \hat{v}_{y,k}^- \\ \hat{x}_k^- \\ \hat{y}_k^- \\ \hat{\psi}_k^- \end{bmatrix} \quad (37)$$

A \underline{h}_k kimeneti függvény alapján felírt $\underline{\underline{H}}_k$ Jacobi-mátrix pedig a következő:

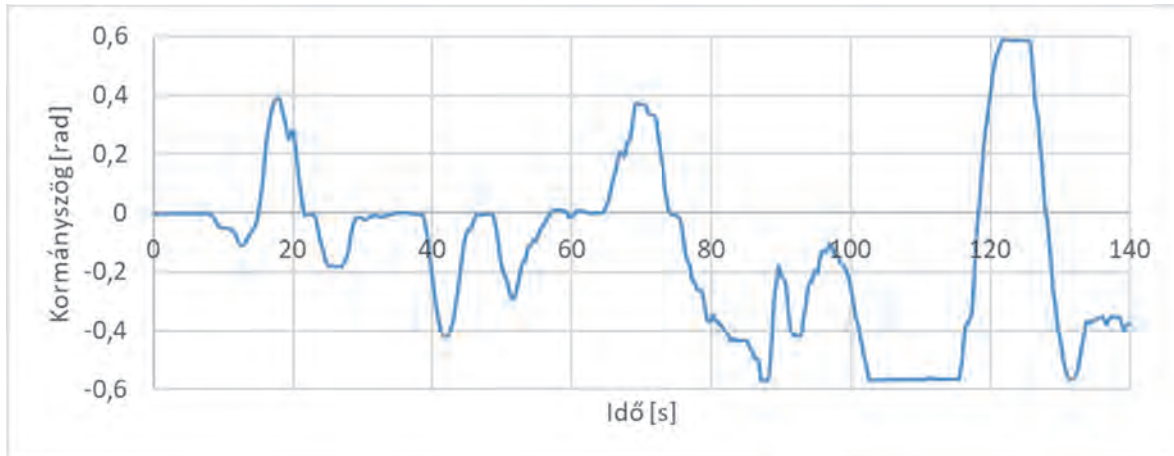
$$\underline{\underline{H}}_k = \left. \frac{\partial \underline{h}_k}{\partial \underline{x}_k} \right|_{(\hat{\underline{x}}_k^-, \underline{0})} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{tg\beta}{l_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (38)$$

5. Mérési eredmények

A becslő eljárás teszteléséhez egy Nissan Leaf 2015 típusú járműben rögzített adatsorok szolgáltak. A modell paraméterei a következők voltak:

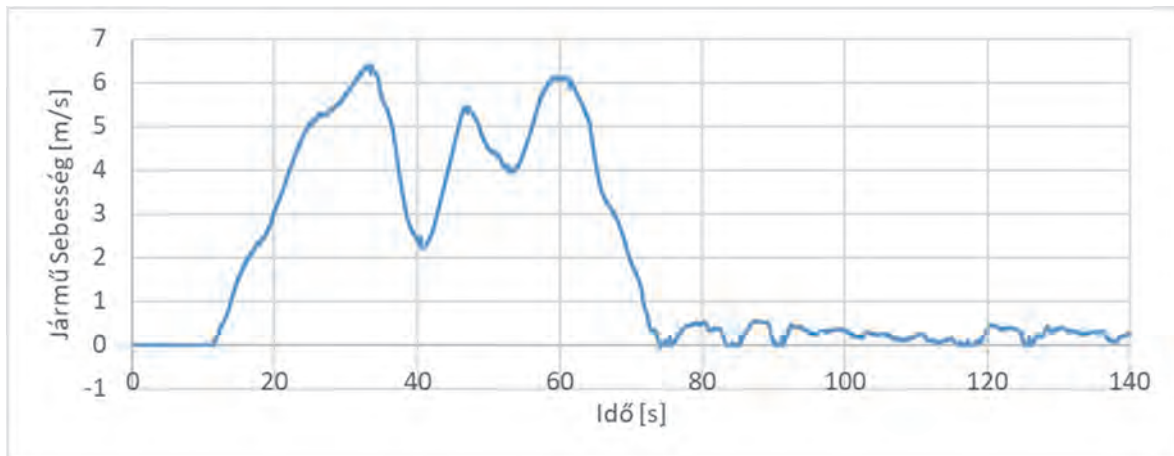
- $m = 1560 \text{ kg}$, a jármű tömege,
- $l_1 = 1,1615 \text{ m}$, a tömegközéppont első tengelytől számított távolsága,
- $l_2 = 1,5385 \text{ m}$, a tömegközéppont hátsó tengelytől számított távolsága,
- $c_1 = 35000 \text{ N/rad}$, az első tengely középpontjában (a jármű hosszirányú középvonala) összevont első kerekek kanyarmerevsége,
- $c_2 = 35000 \text{ N/rad}$, a hátsó tengely középpontjában (a jármű hosszirányú középvonala) összevont hátsó kerekek kanyarmerevsége,
- $\Theta_{zz} = 1504 \text{ kgm}^2$, a jármű Z tengely körüli tehetetlenségi nyomatéka.

A bemutatott eredmények egy több kigyorsítási és kanyarodási szakaszt tartalmazó valós mérésen alapulnak. A bemenő adatokból az első a kormányaszög volt. Ahogy az alábbi ábrán (2. ábra) is megfigyelhető a mérések során a jármű több kisebb és több nagyobb irányváltást is végrehajtott.



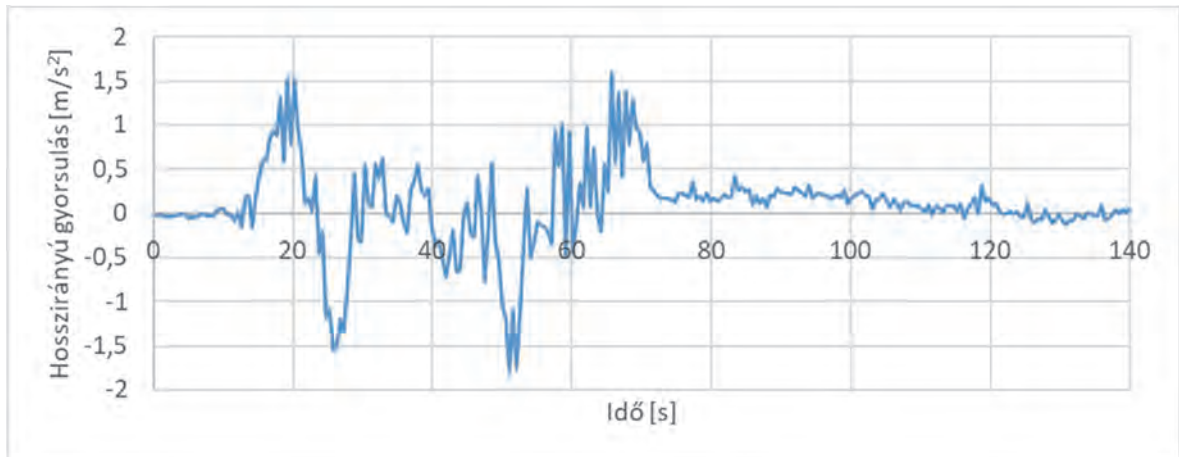
2. ábra. A vizsgálatok során rögzített kormányaszög

A jármű sebességet az odometria modultól kapta az algoritmus azaz mondhatjuk, hogy a rögzített értékek jó közelítéssel a jármű eredő sebességét tartalmazzák. Ahogy az alábbi ábrán is látható (3. ábra) egy viszonylag alacsony sebességű manővert hajtottunk végre, a végén több igen alacsony sebességű gyakori megállásokat is tartalmazó szakasszal

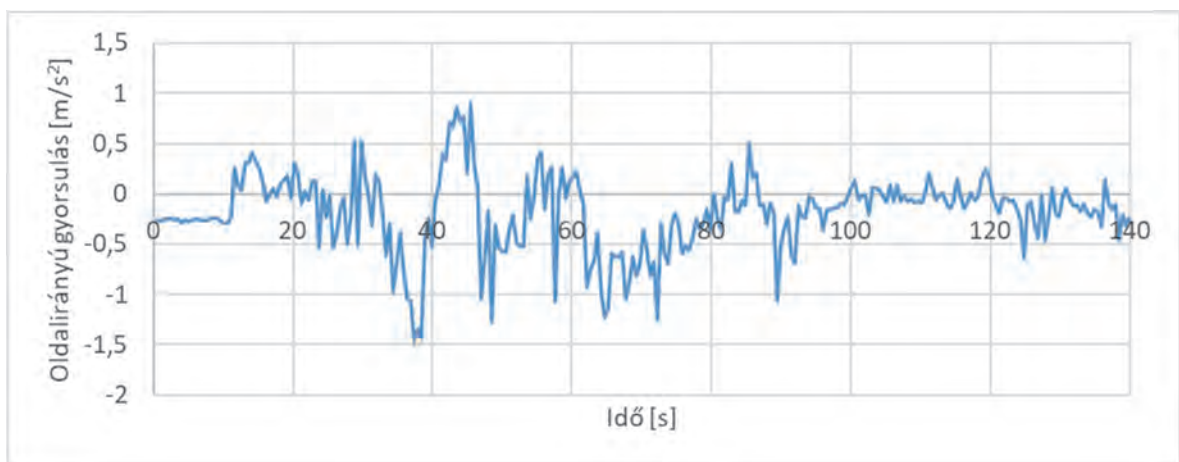


3. ábra. A vizsgálatok során rögzített sebesség

A hossz- és oldalirányú gyorsulás értékek, mondhatni, hogy az elvártaknak megfelelően zajosak, ugyanakkor követhetőek az értékeken a végrehajtott manőverek (4. ábra, 5. ábra)

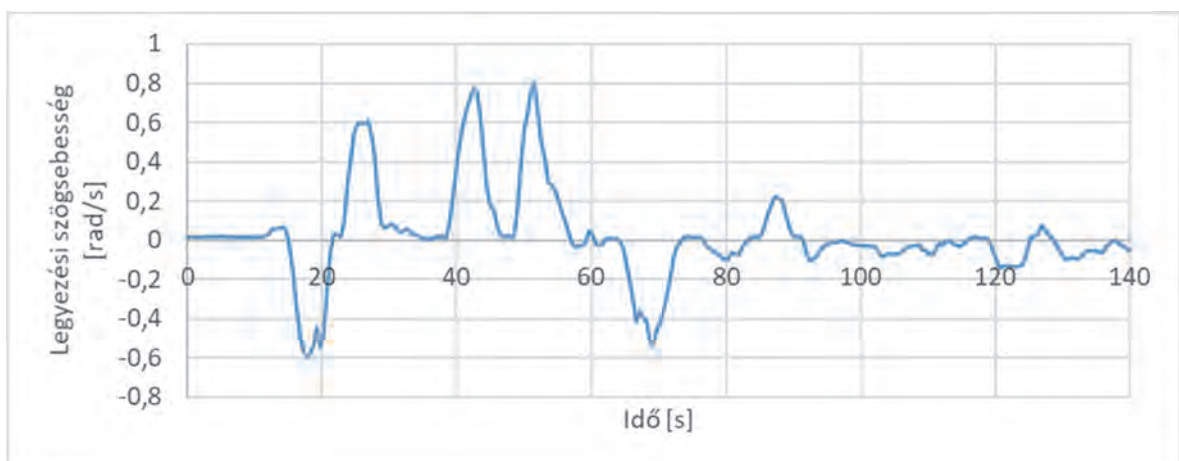


4. ábra. A vizsgálatok során rögzített hosszirányú gyorsulás



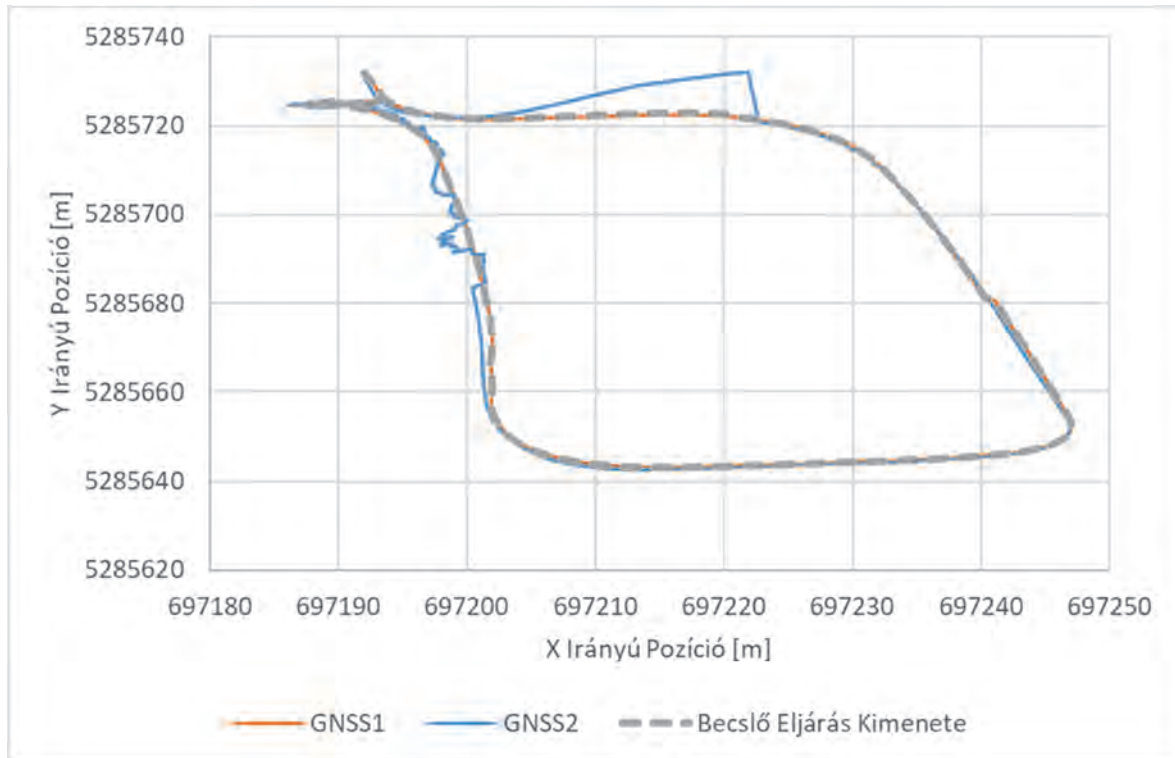
5. ábra. A vizsgálatok során rögzített oldalirányú gyorsulás

A kormányzög és gyorsulás értékeken túl az algoritmus még felhasználja a legyezési szögsebesség értékeket is (6. ábra).



6. ábra. A vizsgálatok során rögzített legyezési szögsebesség

A vizsgálatok során két GNSS modult is alkalmaztunk, míg a GNSS1 modul szolgáltatja a referencia értékeket, addig a GNSS2 modul esetében szándékosan letiltottuk a pozíció pontosító eljárások többségét, ezáltal meg tudtuk vizsgálni, hogy megfelelően működik-e a kifejlesztett algoritmus (7. ábra).



7. ábra. A vizsgálatok során rögzített és becsült pozíció adatok

A fentiek alapján elmondható, hogy az algoritmus megfelelően működött.

6. Összefoglalás

A kutatás során sikerült egy olyan algoritmust, mely egy-egy kiterjesztett Kálmán-szűrőn alapuló dinamikai illetve kinematikai modell között váltogatva képes a különböző sebességekhez és jelminőségekhez igazodva pontosítani, vagy akár helyettesíteni is a GNSS rendszerektől érkező adatokat. A létrehozott algoritmust valós mérések során is megvizsgáltuk, mely vizsgálatok során sikeresen bizonyította a működő képességét.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001 „Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén” pályázat keretében valósult meg a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében. A publikációban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal is támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] Skog I, Handel P (2009) In-car positioning and navigation technologies – a survey. IEEE Trans Intell Transp Syst 10:4–21 DOI: 10.1109/TITS.2008.2011712
- [2] Riekert, P.; Schunck, T.E. Zur Fahrmechanik des gummbereiften Kraftfahrzeugs, Ing. Arch. (1940) 11: 210. <https://doi.org/10.1007/BF02086921>
- [3] Simon, D. Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches, Wiley-Interscience; 2006 <http://dx.doi.org/10.1002/0470045345>

Kezdeti paraméterek hangolása neurális hálózatok alkalmazáskörében

Tuning of initial parameters in neural networks

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: A korszerű neurális hálózatok optimális kezdeti paraméterkombinációjának számítása nem triviális probléma, hiszen egyrészt csak közelíthetőek, másrészt a korrigálás csak két hálózattanítási kísérlet között lehetséges, ami komplexebb hálózatok és terjedelmesebb adatkészletek esetében rendkívül hosszú időt vehet igénybe. Ebben a cikkben erre a problémára próbálok egy megoldást bemutatni, illetve a használatát illetően iránymutatást adni. A Bayes-optimalizálót felhasználva végeztem két teljes hangolási iterációt, majd a cikk végén a legjobb kezdeti paraméterkombinációval elvégeztem egy teljes tanítási folyamatot. A tanítás eredményeit az utolsó fejezetben prezentálom.

Kulcsszavak: neurális hálózatok, kezdeti paraméterek, Bayes-optimalizáció

Abstract: Calculating the optimal initial parameter combination for state-of-the-art neural networks is not a trivial problem, since on the one hand they can only be approximated, and on the other hand correction is only possible between two network approximation attempts, which can take a very long time for more complex networks and more voluminous datasets. In this article, I try to present a solution to this problem and to give some guidelines for its use. I have performed two full tuning iterations using the Bayesian optimizer, and at the end of the paper I have performed a full training run with the best initial parameter combination. The results of the training are presented in the last section.

Keywords: neural networks, hyperparameters, Bayesian optimization

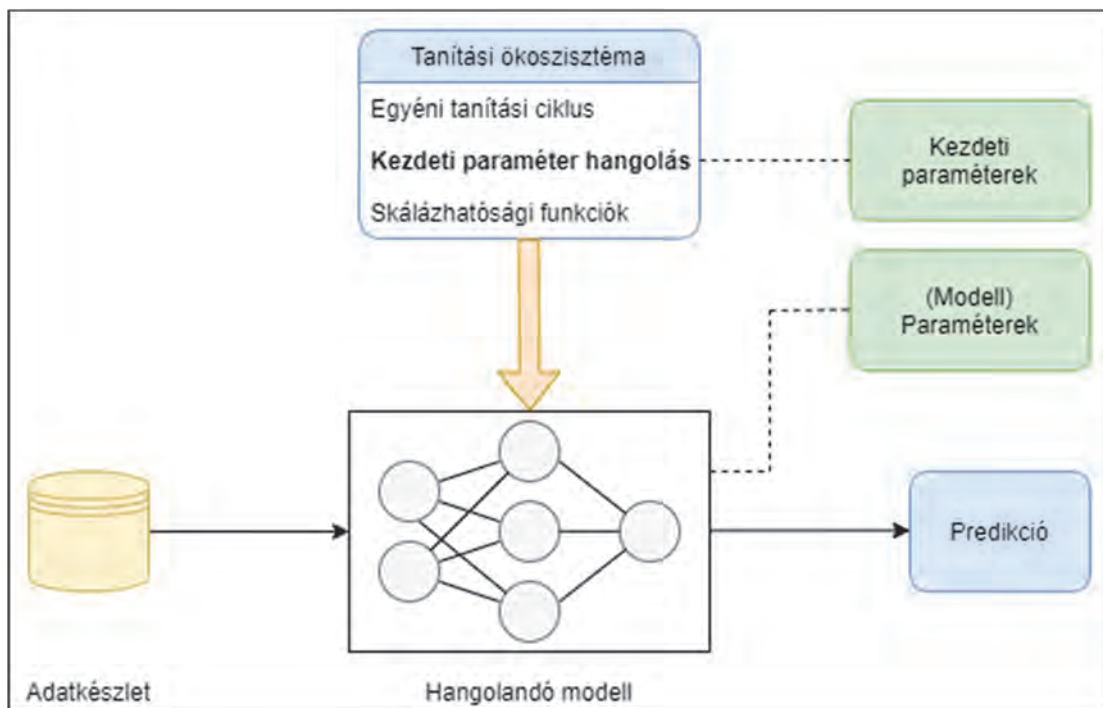
1. Bevezetés

Az utóbbi egy évtizedben a neurális hálózatok és a mesterséges intelligencia tudományterületén hatalmas előrelépés ment végbe, ami főleg a terület jelenlegi fókuszát képező neurális hálózatoknak köszönhető. Ezek a hálózatok nem tekinthetőek szigorúan fekete doboz (black-box) modellnek, azonban a paramétereinek tanulmányozása által még vizualizációs technikák felhasználásával is korlátozott mennyiségű és minőségű információ nyerhető ki arra vonatkozóan, hogy a bemeneten érkező eloszlásra pontosan milyen kimenetet kapunk. Ugyanez igaz abban az esetben is, ha mi magunk hozzuk létre a modellt, hiszen egy hálózat akár sok milliós paraméterrel is rendelkezhet, amit kézi módszerrel egyrészt komplexitás, másrészt a szükséges idő szempontjából sem lehetséges kivitelezni. Ebből kifolyólag egy tetszőleges problémakör (ami itt adatkészlet függő) neurális hálózattal való megoldását egy optimalizációs eljárással valósítjuk meg, amit tanítási folyamatnak szokás nevezni a szakirodalomban. Tovább komplikálja a helyzetet, hogy az optimalizációs eljárás gyakran a globális minimumérték helyett egy lokális minimumon állapodik meg, így meggátolva a konvergenciát a globális

minimum irányába. Ennek oka többrétű, melyet a modell szabad paramétereivel szabályozhatunk, azonban ezeket a tanítás elején kell megadnunk, a folyamat alatt már csak korlátozott mértékben változtathatjuk értéküket. Ezen utóbb említett problémakört járom körül a cikkben, illetve mutatok be egy optimális megoldást rá.

2. A kezdeti paraméterek problémaköre

Az optimalizáció során a neurális hálózatunk paramétereit közelítjük, aminek a kezdeti feltételeit a szabad paraméterek adják meg. A folyamat átláthatósága érdekében először a két fő típus, a paraméterek és a kezdeti (szabad) paraméterek közti különbségeket mutatom be, illetve a továbbiakban is ezen a két néven fogok rájuk hivatkozni, az átláthatóság érdekében. A paraméterek határozzák meg a modell viselkedését. Ezek becslése lehetséges a rendelkezésre álló adatokból, ami a tanítási folyamatban megy végbe. Neurális hálózatok esetén a paraméterek a súlyok és bias értékek. A kezdeti paraméterek határozzák meg a tanulás folyamatát. A paraméterekkel szemben ezek becslése nem lehetséges kizárólag a rendelkezésre álló adatok alapján. Ezen utóbbi probléma megoldására hivatott eljárás a paraméter hangolás, amiről a jelen cikk is szól.



1. ábra. A tanítási és paraméterhangolási rendszer vázlatja

A módszer lényege dióhéjban a kezdeti paraméterek valamilyen adattól független módszerrel való közelítése, hogy használatával bármilyen problémakörhöz, amit a gépi tanulás területén belül az adatkészlet határoz meg, a legadaptívabb modellt kapjuk vissza. Adaptivitás alatt itt a tanítási adathalmaztól eltérő bemeneti eloszlásokat kell érteni.

Ahogy az a bevezetésben említésre került, a tanítási folyamat alatt a kezdeti paraméterek értékeit már csak korlátozott mértékben változtathatjuk. Ide tartozó paraméter például a tanulási ráta, vagy a lendület (momentum). Tanítás során adott időközönként csökkenthető például a tanulási ráta, de ez a csökkenés sokkal inkább az optimalizáció finomítását szolgálja a tanítási folyamat későbbi szakaszaiban, mintsem az adaptív kezdeti paraméter keresést. Ennek okán a

tanítási folyamatok között kell megtennünk a szükséges módosításokat, hogy a következő iteráció eredménye már esetlegesen közelebb kerüljön az optimális kombinációhoz. A köztes módosítások nem mindig adaptívak, sokszor hagyatkoznak a szakirodalomban a rendelkezésre álló szakértelmükre (kézi hangolás), vagy valamiféle véletlenszerű paraméterkeresésre (grid search, random search). Jelen cikkben az adaptív Bayes-optimalizáció kerül fókuszba.

3. A globális és lokális minimumok problémája

Mielőtt rátérünk a hangolásra, nézzük meg miért nem létezik univerzális kezdeti paraméterkombináció neurális hálózatok optimalizálására. A tanítási folyamat során veszünk egy adott számú tanítási mintát, melyeket végig futtatunk a neurális hálózaton, majd meghatározzuk a kimenetek hibáját egy differenciálható veszteség vagy költségfüggvénnyel. A folyamat végén pedig paraméterenként (vagyis súlyonként és bias értékenként) meghatározzuk az egyes súlyok hozzájárulását az átlag hibához. Ezek a hozzájárulások a backpropagation (magyarul visszaterjesztés) algoritmussal számíthatóak. A kapott gradiensek alapján az optimalizáló konyhanyelven szólva tesz egy lépést a paraméter térben a minimumérték felé,

$$W'_x = W_x - \alpha \cdot \left(\frac{\partial Error}{\partial W_x} \right),$$

ami egyébként lehet lokális vagy globális, ezt nem tudhatjuk előre, azonban a kipróbált tanítási konfigurációk számának növekedésével egyre tisztább képet kapunk a kérdésről. Az előbbi képlet egy adott paraméterre vonatkoztatva került felírásra. Mivel itt a hiba függvényében történik az optimalizációs lépés, ezért nézzük meg közelebbről, hogy mitől függ a hiba értéke tetszőleges differenciálható költségfüggvényt véve. A költség számítása egy mini-batchre m számú példával az alábbiak szerint számítható:

$$C(W) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m L(f(x^{(i)} | W), y^{(i)}),$$

ahol L a választott veszteségfüggvény, a W függő változó pedig a teljes paraméter vektor a modellre nézve, ami a súlyok és bias értékek teljes kollekcióját képviseli. A veszteségfüggvényen belüli $f(x^{(i)} | W)$ függvény képviseli a neurális hálózatot az i – ik tanítási példa eredményével, $y^{(i)}$ pedig a tanítási példa valós kimenete. Mivel a tanítási folyamat során a neurális hálózatarchitektúra, a veszteségfüggvény, és az adatkészlet is az elején rögzített, így az egyetlen érték, ami a folyamat közben befolyásolja a veszteséget, az a W paramétervektor. Ezek alapján belátható, hogy minden hármas kombináció a veszteségfüggvénnyel, az adatkészlettel és az architektúrával egy sajátos felületet fog létrehozni, melynek pontjait a paramétervektor különböző érték kombinációi adják meg. Ezen a felületen fog mozogni az optimalizáló, és ennek okán változik minden problémakör esetén a lokális minimumok és a globális minimum relatív helyzete.

4. A hangolás módszere és menete

A globális minimum megtalálására a korábban említett Bayes-optimalizáló algoritmust használtam. Ez az optimalizáló a Bayes-tételre alapul

$$P(H | D) = \frac{P(H) \cdot P(D | H)}{P(D)},$$

mely az újabb és újabb adatok alapján folyamatosan frissíti a prior-hipotézist, így eljutva egy aktuálisabb poszterior-hipotézishez. Az optimalizáló esetén az adatokat a tanulási folyamat eredményei adják. Az optimalizáló mintavételezi a kezdeti paraméter teret a folyamat elején, legtöbbször véletlenszerűen, majd ezt követően közelíti a valós függvényt, még hozzá olyan módon, hogy az előző lépésben kapott minták alapján számol egy Gauss-folyamatot [1] és ennek az átlagát veszi alapul, mint a valós „fekete doboz” függvény legjobb közelítését. Tartozik az optimalizáció folyamatához egy nyereségfüggvény is (acquisition function), amivel a kezdeti paraméter tér soron következő mintavételezési pontjának kiválasztásához nyújt információt. A nyereségfüggvényeknek több fajtája van, melyek különböző módokon definiálják az ide tartozó két fontos fogalmat: a felderítést (exploration) és a kiaknázást (exploitation), illetve ezen két funkció felhasználásának arányával játszanak ezen nyereségfüggvények. A kiaknázás a nagy bizonyosságú maximumokat használja ki, a felderítés célja pedig a bizonytalan területek lefedése. A Bayes-optimalizáló a saját számításai szerint megfigyeli az újabb pontot, majd újraszámítja a Gauss-folyamatot, frissíti a nyereségfüggvényt és megfigyeli az újabb pontot. Ez folytatódik ciklikusan az általunk meghatározott feltételekig. A kísérleteim során két iterációra bontottam a hangolást, hogy teszteljem milyen hatása van az optimalizációra. A hálózatarchitektúra egy szemantikus szegmentáló hálózat, a Bilateral Segmentation Network [2] második verziója, az adatkészlet pedig a Berkeley Deep Drive [3] sávszegmentáló tanító készlete.

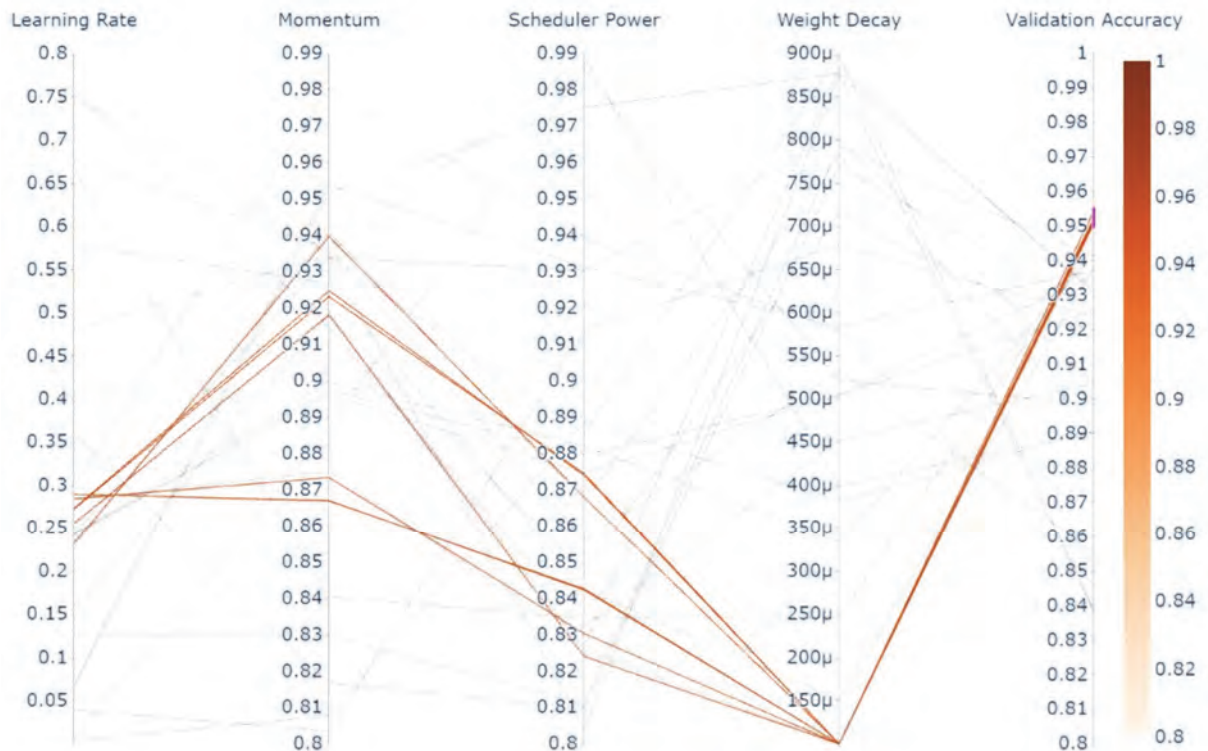
5. Hangolási iterációk és eredmények

Az első iteráció során a következő kezdeti paraméter intervallum értékek szerepeltek. Az értékek különböző szakirodalmak és előzetes tapasztalatok alapján kerültek megadásra. A hangolás során négy kezdeti paramétertípus adtam meg, amelyekkel az optimalizáló dolgozhatott, ezek a kezdeti paraméterek a Learning Rate (tanulási ráta), Momentum (lendület), Scheduler Power, mely a tanulási ráta ütemező algoritmusában egy kitevőt jelent, ami szabályozza az értékcsökkenés sebességét, illetve a Weight Decay, amely az L2 mátrix norma alapján történő penalizáció, a tanulási folyamat során a modell paramétereiben a túlzott komplexitás megelőzésére alkalmazzuk.

| <i>Paraméterek</i> | <i>Hangolási Intervallum</i> |
|--------------------|---|
| Learning Rate | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.0001 \leq x \leq 0.8\}$ |
| Momentum | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.8 \leq x \leq 0.99\}$ |
| Scheduler Power | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.8 \leq x \leq 0.99\}$ |
| Weight Decay | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.0001 \leq x \leq 0.0009\}$ |

2. ábra. Az első kísérlet kezdeti paraméter intervallumai

Az optimalizáló 30 próbálkozásra lett limitálva, ennek az eredményeit láthatjuk a 3. ábrán. Az eredményeket a „parallel coordinates plot” módszerrel jelenítettem meg, melyen minden egyes paraméterre jól láthatóan elkülönülnek az intervallumok, amik magas pontosságot adtak vissza.



3. ábra. Az első hangolási iteráció eredményei.

Az eredményeket megszürttem, méghozzá a validációs pontosság alapján, így az ábrán azok az a paraméterkombinációk szerepelnek kiemelve, amelyek 95% feletti pontosságot nyújtottak. A legjobb három kombináció kiemelve is látható a 4. ábra táblázatában.

| Sorrend | Learning Rate | Momentum | Scheduler Power | Weight Decay |
|---------|---------------|----------|-----------------|--------------|
| 1. | 0.2844 | 0.8734 | 0.8303 | 0.0001 |
| 2. | 0.2896 | 0.8669 | 0.8425 | 0.0001 |
| 3. | 0.2895 | 0.8670 | 0.8421 | 0.0001 |

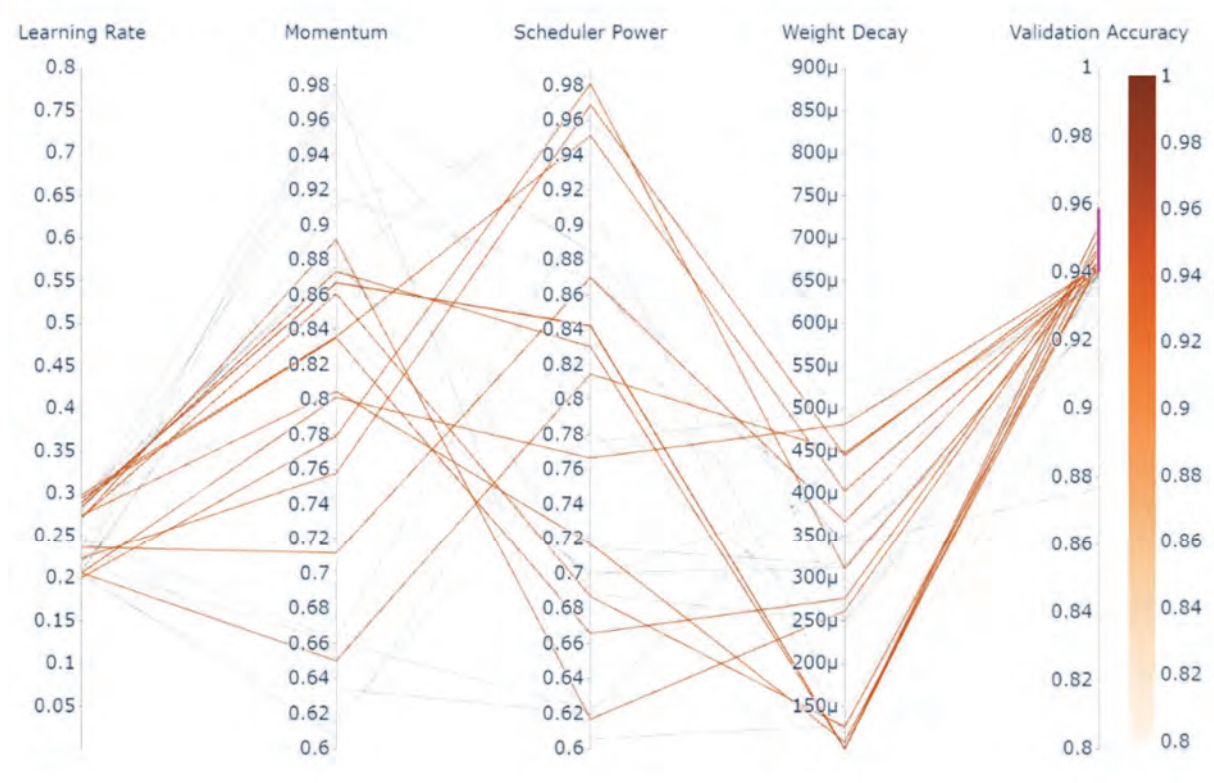
4. ábra. A 3 legjobban teljesítő kezdeti paraméter kombináció

Ennek alapján állítottam be a második iteráció kezdeti paramétereit, ügyelve arra, hogy az értéktartományokat valamelyest szűkítsem a kísérletben kirajzolódott intervallumokra, de mégis hagyjak egy kisebb mozgásteret jobb eredményt nyújtó kombinációk feltárására.

| Paraméterek | Hangolási Intervallum |
|-----------------|---|
| Learning Rate | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.2 \leq x \leq 0.3\}$ |
| Momentum | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.6 \leq x \leq 0.99\}$ |
| Scheduler Power | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.6 \leq x \leq 0.99\}$ |
| Weight Decay | $\{x \in \mathbb{R} \mid 0.0001 \leq x \leq 0.0005\}$ |

5. ábra. A második kísérlet kezdeti paraméter intervallumai

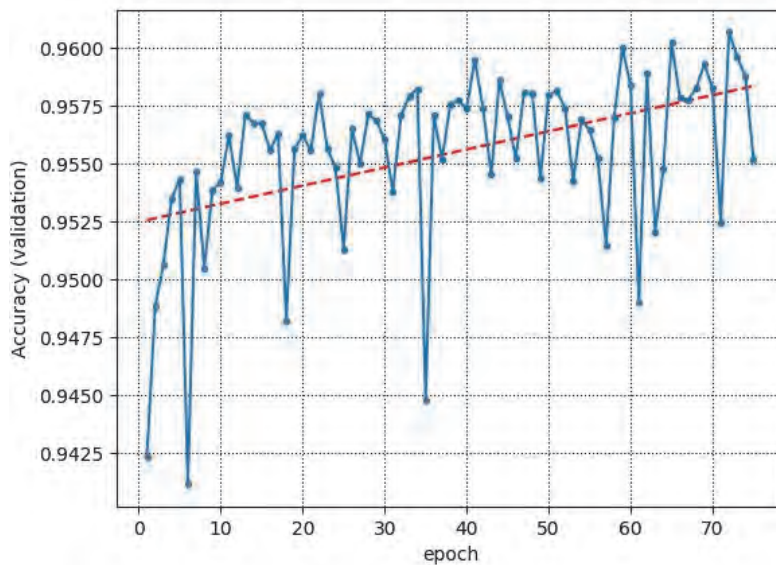
A második iteráció már sokkal kisebb szórást mutat a validációs pontosság terén, azonban a maximum pontosságon nem sikerül javítani, így továbbra is az első iteráció legjobbja biztosította az eddigi legpontosabb kezdeti paraméter kombinációt. Ennek oka valószínűleg abban keresendő, hogy egyrészt a 4 kezdeti paraméter nem ad elég mozgásteret a Bayes-optimalizációs algoritmusnak, másrészt utólagosan belátható, hogy a túlzott intervallum resztrikció hasonló eredményekre fog vezetni, mint ami alapján a korlátozás történt. Ennek ellenére a Bayes-optimalizáló első iterációja által kapott kombináció már 5 epoch után 95% feletti validációs pontosságot mutat, így egy több mint elfogadható paraméteregyüttes. Megfelelő számú tanítás után pedig valószínűsíthetően egy pontos modellt kapnánk vissza. A legjobb kombinációval való tanítás eredményei a következő fejezetben láthatóak.



6. ábra. A második hangolási iteráció eredményei.

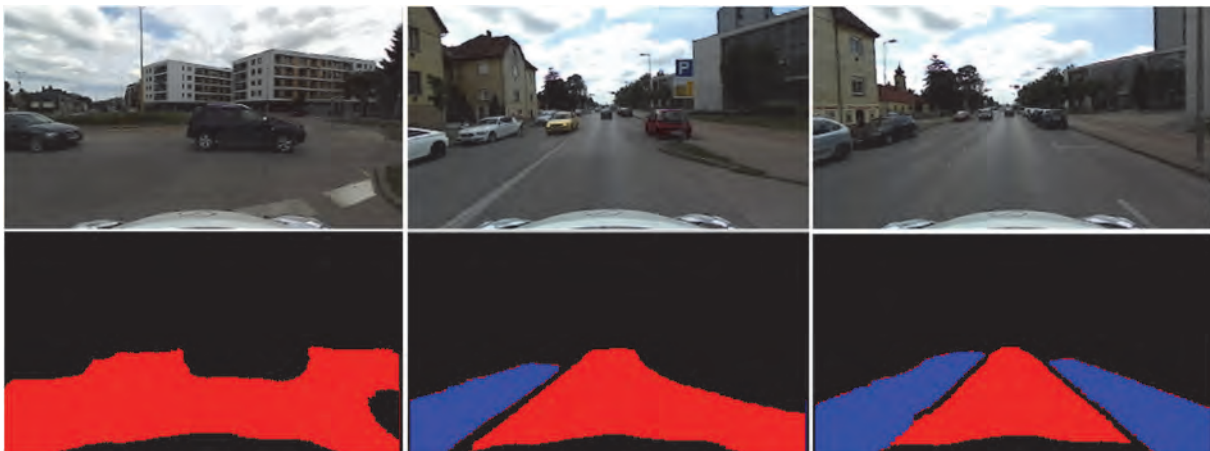
6. Tanítási Eredmények

A hangolási eredmények megerősítése érdekében elvégeztem egy teljes értékű tanítási folyamatot, melyet kvantitatív majd kvalitatív módon szeretnék prezentálni. Ehhez a legjobb paraméterkombinációt használtam, amit 75 cikluson (epoch) keresztül iteráltam. A validációs pontosság a 7. ábra szerint alakult. Az értékek magas varianciát mutatnak, de a tendenciát jelezve a grafikonon látható, hogy a pontosság határozottan növekszik, ahogy növekszik a tanítási ciklusok száma.



7. ábra. A tanítás validációs pontosságának grafikonja.

A kvalitatív példán különböző útszakaszok szegmentációja látható. A hálózat az architektúra felépítéséből fakadó kiemelt élfelismerés, illetve az optimalizációnak köszönhető magas validációs pontosság következtében képes különböző helyzetekben jól elkülöníteni az útfelületet, legyen szó körforgalomról vagy más forgalmi helyzetről.



8. ábra. A tanított hálózat eredménye a legjobb konfigurációval, különböző forgalmi helyzetekben.

7. Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] C. E. Rasmussen és C. K. I. Williams, *Gaussian processes for machine learning*. MIT Press, 2006.
- [2] C. Yu, C. Gao, J. Wang, G. Yu, C. Shen, és N. Sang, *BiSeNet V2: Bilateral Network with Guided Aggregation for Real-time Semantic Segmentation*. 2020.
- [3] F. Yu és mtsai., *BDD100K: A Diverse Driving Dataset for Heterogeneous Multitask Learning*. 2020.

Aszinkronmotoros hajtás enkóderhiba-tűrő sebességszabályozása

Encoder fault tolerant speed control of induction motor drive

Horváth Krisztián

Széchenyi István Egyetem, Automatizálási Tanszék
krisztian.horvath@sze.hu

Absztrakt: A legtöbb szabályozott aszinkronmotoros hajtásban szükséges mérni a forgórész szögsebességét. Azonban a mechanikus érzékelők csökkentik a hajtásrendszer megbízhatóságát. Ebben a tanulmányban egy enkóderhiba-tűrő sebességszabályozási módszer kerül ismertetésre, amely különböző szenzorhibák mellett is megfelelő működést biztosít a hajtás számára, ahogy azt szimulációs vizsgálatok eredményei is mutatják.

Kulcsszavak: aszinkronmotoros hajtás, hibatűrő szabályozás, sebességbecslés

Abstract: Most of the controlled induction motor drives require the measurement of the rotor angular velocity. However, the mechanical sensors reduce the reliability of the drive system. In this study, an encoder fault tolerant speed control method is presented for induction motor drives. The proposed method provides adequate performance under different fault conditions, as shown by the simulation results.

Keywords: induction motor drive, fault tolerant control, speed estimation

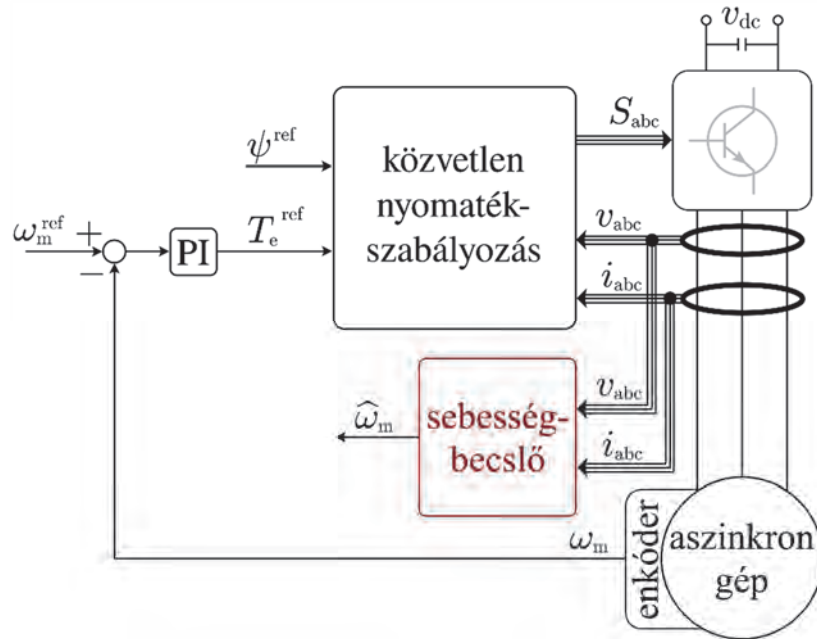
1. Bevezetés

A korszerű hajtásrendszerek általában rendelkeznek diagnosztikai funkciókkal, hogy a komplex ipari rendszerek hirtelen leállása és a jelentősebb károkozások elkerülhetők legyenek. A kezdődő hibák és meghibásodások észlelése alapvető elvárás a modern hajtások esetén, ahogy az [1]-[2] munkákban is olvasható.

Az aszinkronmotoros hajtásszabályozási módszerek többségének szüksége van a forgórész sebességinformációjára, amely általában valamilyen mechanikus érzékelőből származik. Azonban ezek az érzékelők hibaforrások is lehetnek. A forgó jeladó hibájának felismerésére alkalmazható olyan állapotbecslő, amely kizárólag a villamos mennyiségek mérése alapján képes megfelelő pontossággal becsülni a rotorsebességet. Ez a sebesség, szenzorhiba esetén, felhasználható az irányítási algoritmusban a mért mennyiség helyett. Így egy enkóderhiba-tűrő hajtásszabályozási módszer valósítható meg, amely a sebességérzékelő észlelt hibája esetén érzékelő nélküli üzemmódban működik tovább. Ezen az elven működő hibafelismerési és hibatűrő szabályozási módszer szimulációs vizsgálatának eredményei olvashatók ebben a tanulmányban.

2. Sebességérzékelő modellalapú hibaészlelése

Ebben a fejezetben egy állapotbecslésen alapuló enkóderhiba-felismerési módszer szimulációs vizsgálatának eredményei láthatók. A vizsgált hajtás blokkvázlata az 1. ábrán látható.

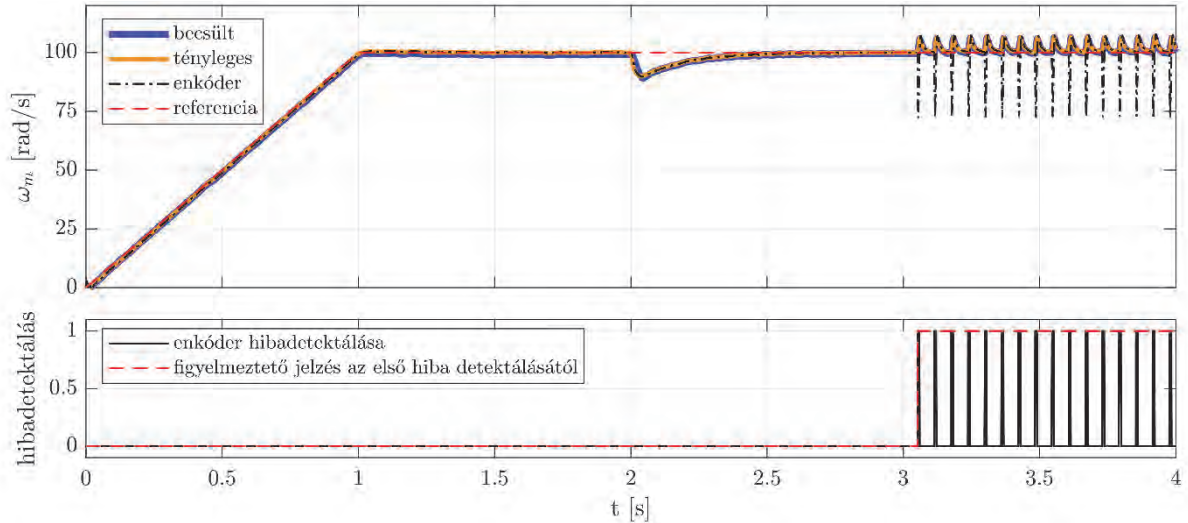


1. ábra. Aszinkronmotoros hajtás sebességszabályozásának blokkvázlata az enkóder hibájának felismerésére szolgáló becslővel

Az 1. ábrán látható, hogy a modellezett aszinkronmotoros hajtás működéséhez szükséges mérni a v_{abc} feszültség- és i_{abc} áramjeleket, valamint a forgórész ω_m sebességét. A sebesség mérését jelen esetben egy inkrementális enkóder végzi, amelynek a szimulációs vizsgálatokhoz alkalmazott modellje a [3]-[4] munkákban olvasható leírás alapján készült. Az ω_m^{ref} referenciasebesség és a mért sebesség különbségéből egy PI tag határozza meg az előírt sebesség eléréséhez szükséges T_e^{ref} nyomatékreferenciát, amely a ψ^{ref} fluxusreferencia mellett egy közvetlen nyomatékszabályozási algoritmus bemenete. Az alkalmazott közvetlen nyomatékszabályozási módszer részletes leírása az [5] cikkben olvasható. Ez az algoritmus állítja elő az aszinkron gépet tápláló feszültséginverter kapcsolójeleit. A mért v_{abc} és i_{abc} jelek a hajtásszabályozási algoritmus mellett bemenetei egy kiterjesztett Kálmán-szűrő alapú sebességbecslőnek, amelynek részletes leírása a [6] konferenciacikkben olvasható.

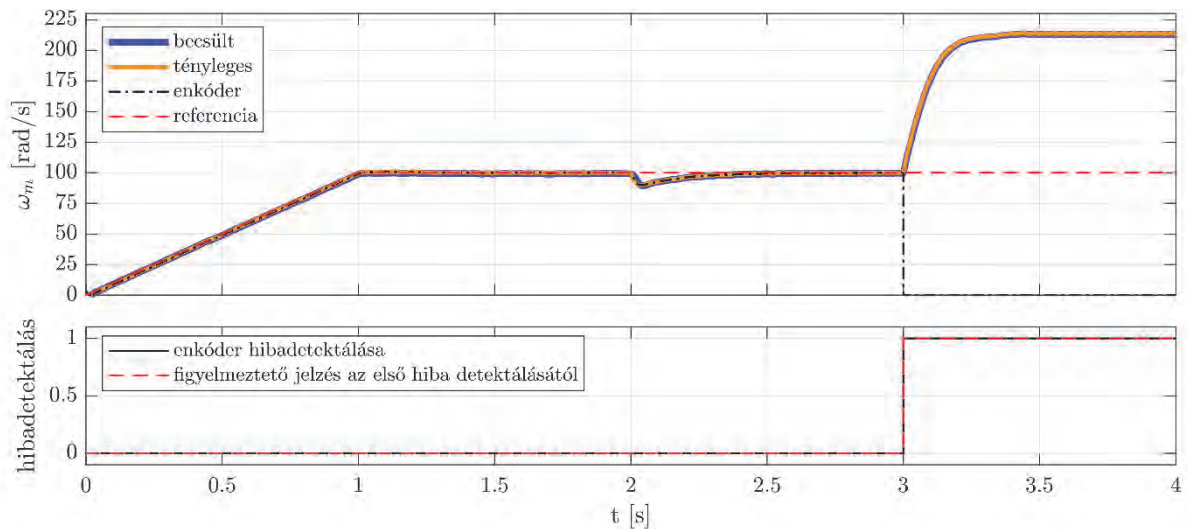
Az 1. ábrán látható blokkvázlatnak megfelelő, 0,8 kW névleges teljesítményű aszinkron gépes hajtás szimulációs vizsgálatának eredményei a 2. és 3. ábrákon láthatók. A motor indítása és felgyorsítása mindkét esetben terheletlenül, hibamentes sebességérzékelő mellett történik az ábrákon látható sebességreferencia, és $\psi^{\text{ref}} = 0,2$ Wb fluxusreferencia mellett. A szimuláció 2. másodpercében a terhelés zérusról 1 Nm-re ugrik, és az enkóder hibája a 3. másodpercet követően jelentkezik.

A szimulációs modellben vizsgált inkrementális enkóder hibamentes esetben 1024 impulzust ad egy fordulat alatt. A 2. ábrán látható esetben azonban minden periódusban 20 egymást követő impulzus kimarad, amely tartományban a szenzor által mért sebesség lecsökken a valós sebességhez képest. Az ábrán látható, hogy míg a becsült és a tényleges sebesség együtt halad, addig az enkóder által mért sebesség a hibás tartományokban lecsökken. Ha a becsült és az enkóder által szolgáltatott sebesség különbsége nagyobb mint 5 rad/s, akkor azt a hibaészlelési algoritmus szenzorhibának értékeli. Az ábrán továbbá az is jól látszik, hogy hibás sebességszenzor esetén jelentősen romlik a sebességszabályozás minősége.



2. ábra. Szimulációs eredmény enkóderhiba felismerének vizsgálatához

A 3. ábrán a 3. másodpercet követően az enkóder meghibásodik és zérus jelet szolgáltat. Mivel a sebesség-visszacsatoló ágban 0 rad/s jelenik meg, így a PI tag növeli a nyomatékreferenciát a sebességhiba csökkentése érdekében. Emiatt a sebesség a kívánt értéknél jelentősen magasabb ebben a tartományban. A sebesség növekedésének a közbenső egyenáramú kör feszültség szintje szab korlátot, amely a szimulációs vizsgálatok során 200 V. Az ábrán látható, hogy a becsült sebesség ebben az esetben is megfelelő pontossággal követi a tényleges értéket.

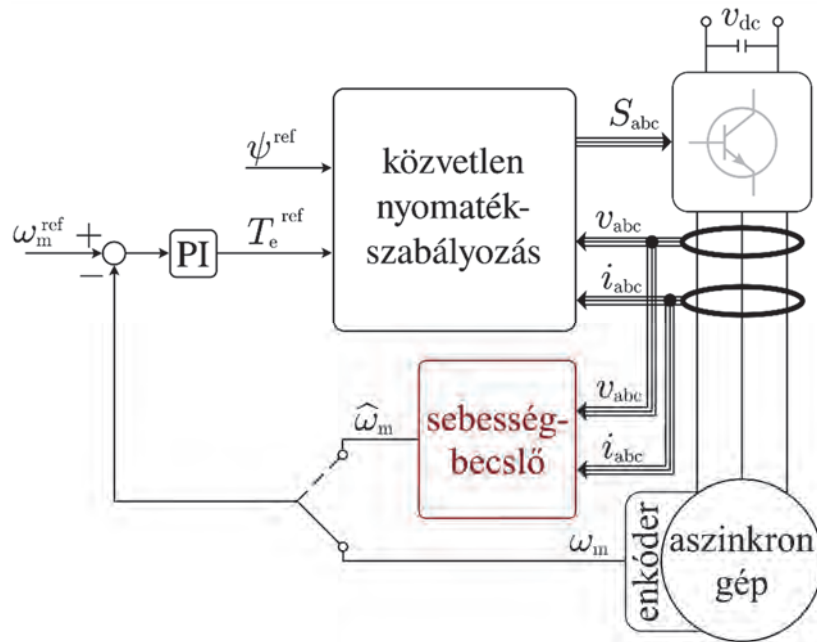


3. ábra. Szimulációs vizsgálat eredménye az enkóder meghibásodásának észleléséhez

3. Hibatűrő sebességszabályozás

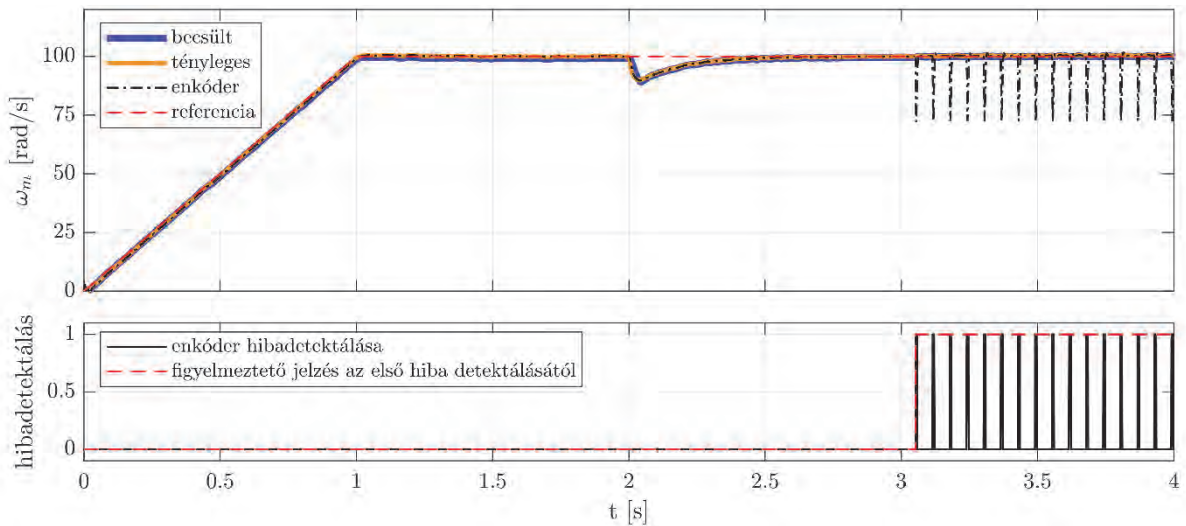
Az előző alfejezetben látható volt, hogy a sebességérzékelő enkóder hibája, illetve meghibásodása jelentősen rontja a szabályozás minőségi jellemzőit. Azonban a hiba észlelésekor a becsült sebesség felhasználható a visszacsatoló ágban a mért mennyiség helyett,

ahogy az a 4. ábrán látható. Ekkor a hajtásszabályozás átvált sebességérzékelő nélküli üzemmódba.

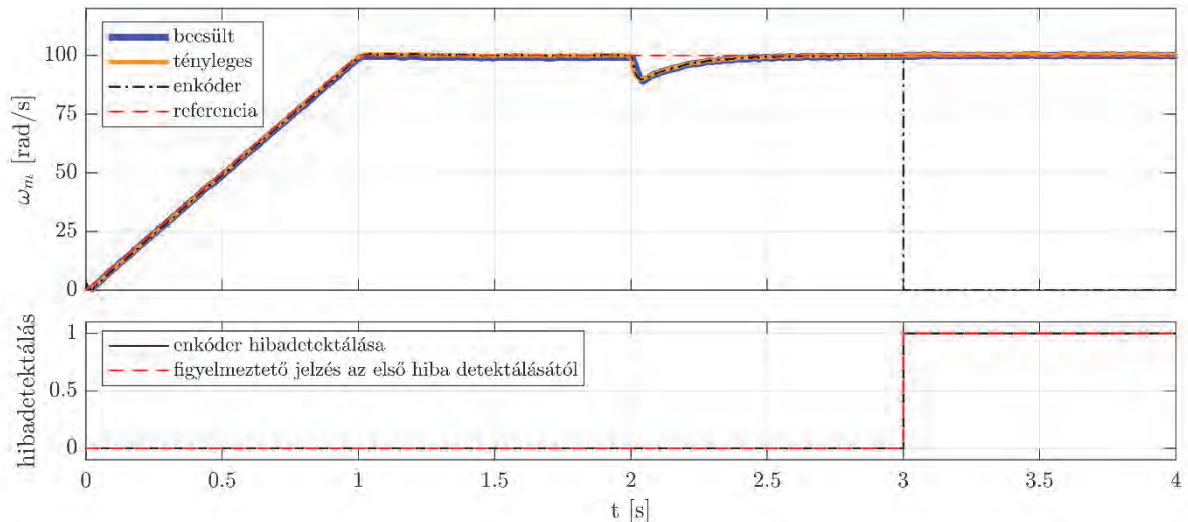


4. ábra. Enkóderhiba-tűrő sebességszabályozás blokkvázlata

A hibatűrő hajtásszabályozási módszer szimulációs vizsgálatának eredményei, az előző fejezetben vizsgált hibák mellett, láthatók az 5. és a 6. ábrákon. Jól látható, hogy a javasolt módszer mindkét szenzorhiba mellett képes megfelelő működést biztosítani a szabályozott hajtás számára.



5. ábra. A hibatűrő sebességszabályozási módszer szimulációs vizsgálatának eredménye hibásan működő enkóder esetén



6. ábra. A hibatűrő sebességszabályozás szimulációs vizsgálatának eredménye meghibásodott enkóder esetén

4. Összefoglalás

Ez a tanulmány egy modellalapú enkóderhiba-felismerő és egy hibatűrő aszinkronmotoros hajtásszabályozási módszer szimulációs vizsgálatának eredményeit ismertette. A szimulációs eredmények alapján látható volt, hogy a javasolt megközelítés képes észlelni a sebességérzékelő hibáit, és a sebességérzékelő nélküli üzemmódba történő átkapcsolással hibás szenzor mellett is képes biztosítani a megfelelő minőségi jellemzőket a hajtás számára.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk a GINOP-2.3.4-15-2016-00003, „Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ – Kutatási infrastruktúra fejlesztése Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ a Széchenyi István Egyetemen” című pályázat támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- [1] Mateusz Dybkowski, Kamil Klimkowski és Teresa Orłowska-Kowalska: Speed sensor fault tolerant direct torque control of induction motor drive, *Proceedings of 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition* (2014), 679-684.
- [2] Kamil Klimkowski és Mateusz Dybkowski: Adaptive fault tolerant direct torque control structure of the induction motor drive, *Proceedings of International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)* (2015), 7-12.
- [3] Ioan Iov Incze, Csaba Szabó és Mária Imecs: Incremental encoder in electrical drives: Modeling and simulation, *Imre J. Rudas, János Fodor, Janusz Kacprzyk: Computational Intelligence in Engineering*, Springer (2010), 287-300.

- [4] Ioan Iov Incze, Alin Negrea, Negrea, Mária Imecs és Csaba Szabó: Incremental encoder based position and speed identification: Modeling and simulation, *Acta Universitatis Sapientiae, Electrical and Mechanical Engineering* (2010), 27-39.
- [5] Isao Takahashi és Toshihiko Noguchi: A new quick-response and high-efficiency control strategy of an induction motor, *IEEE Transactions on Industry Applications* (1986), 820-827.
- [6] Krisztián Horváth és Dénes Fodor: Low speed operation of sensorless estimators for induction machines using extended, unscented and cubature Kalman filter techniques, *Proceedings of International Conference on Electrical Drives & Power Electronics (EDPE)* (2019), 279-285.

A lítium polimer akkumulátorok alakváltozása és a töltöttségi szintje közötti összefüggések elemzése

Analysis of the relationships between deformation and charge level of lithium polymer batteries

Kocsis Szürke Szabolcs^a, Lakatos István^b

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

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

Absztrakt: Publikációnkban a lítium polimer akkumulátorok alakváltozása és a töltöttségi szint közötti összefüggéseket vizsgáljuk. A jelenség tanulmányozásnak az érdekében felület digitalizálás segítségével mértük az akkumulátorokat a terhelés/töltés megszakításának a pillanatában. A lítium polimer akkumulátorok a használat során méretben dinamikusan változnak. Általánosan a terhelés során összehúzódnak, a töltés során pedig púposodnak, de ezt amorf és aszimmetrikus módon teszik, aminek a mértéke nagyban függ a cella állapotától és típusától. Az általunk elvégzett mérések alapján a különböző kondíciójú cellák méretei átlagosan: -0,10mm és 0,10mm között változnak. Azonban nem megfelelő töltés-kisütés vagy elhasználódás okozhat ennél jóval nagyobb fokú méretváltozást is. Mivel ezt a változást nagyban befolyásolja az akkumulátor állapota (SOH), ezért méréseket végeztünk több különböző kondíciójú cellán is. A tesztek során új, közepesen elhasználódott és teljesen rossz állapotú cellákat is vizsgáltunk. A méréseket a digitális képpkorrelációs (DIC) technikával hajtuk végre és a kapott eredményeket adatbázisba rendezzük. Az adatbázisban a töltöttségi szint függvényében a felület digitalizálási adatok egységesítve lettek. Az eredmények alapján megállapíthatóvá vált, hogy van összefüggés az alakváltozás és töltöttségi szint között. Továbbá, hogy az általunk elvégzett 5 töltési és 5 kisütési vizsgálat összegzése során lineáris összefüggést mutatnak az eredmények.

Kulcsszavak: lítium polimer akkumulátor, alakváltozás, GOM, felület digitalizálás, állapotfelmérés

Abstract: The relationships between deformation and charge level of lithium polymer batteries are examined in this publication. To study the phenomenon, we measured the batteries at the moment of load and charge interruption using surface digitization. The size of lithium polymer batteries changes dynamically during use. They generally contract during loading and swell during charging, but this is done in an amorphous and asymmetrical manner, the degree of deformation depending largely on the condition and type of cell. Based on the measurements we performed, the cells in different conditions vary on average between -0.10mm and 0.10mm. However, improper charge/discharge or wear can also cause a much greater degree of volume increase. The deformation is greatly influenced by the state of the health (SOH), so the measurements were also performed on several cells in different conditions. During the tests, measurements were also performed with new, medium and completely worn-out cells. Measurements were performed using the digital image correlation (DIC) technique and the results were organized into a database. In the database, the surface digitization data were assigned as a function of the charge level. Based on the results, it can be concluded that there is a correlation between the deformation and the charge level. Furthermore, the results show a linear relationship when summing up the 5 charge and 5 discharge tests performed.

Keywords: lithium polymer battery, deformation, GOM, surface digitization, battery condition assessment

1. Bevezetés

A lítium akkumulátorok jelenleg széleskörűen használt közkedvelt energiatárolók a járműiparban és hordozható elektronikai eszközök körében is. Az egyre növekvő igények és befektet jelentős összegek hatására számos ígéretes kutatás és fejlesztés zajlik. Mindezek mellett használatuk során számos fejlesztési és üzemi probléma merül fel, amelyek minimalizálása fontos felhasználók számára. Számos kutatás foglalkozik a töltöttségi szint becsléssel (SOC) [1-4], állapot felméréssel (SOH), hőmérséklet hatás [5] vizsgálattal is.

A hagyományos vizsgálatok mellett a közelmúltban a népszerűvé váltak a mechanikai alapú mérések, amelyek kiegészítésével pontosabb információt kapunk a lítium-ion akkumulátorok belső állapotáról [6]. A jól meghatározott cella paraméterek és átmérők fontosok lehetnek a cella elhelyezésének a tervezése során, valamint a SOH becslésnél is. Ezen oknál fogva az lítium akkumulátorok deformációjának a mérése az utóbbi időben közkedvelt kutatási területé vált. Ezen publikációnkban az alakváltozás nagy pontosságú elemzéséhez a közkedvelt DIC technikát használtunk fel. Az általunk is használt GOM rendszert számos területen is sikeresen alkalmazzák [7-8]. Akkumulátoros területen is dolgoznak vele, leginkább elektróda összetétel vizsgálatra [9] és szerkezeti jellemzők mérésére [10], de alakváltozás mérésre is használták már [11-12], esetleg más módszereket kombinálva [13]. Előző cikkünkben már elemeztük a lítium polimer cellák alakváltozását távolságmérő szenzorokkal [14] és DIC technika [15] segítségével is. Korábban a kritikus régiók kijelölésére fókuszáltunk, most pedig azt vizsgáljuk, hogy adott töltöttségi szinthez hogyan lehetne alakváltozási adatokat társítani. Publikációnkban egy újszerű megközelítéssel próbálunk kapcsolatot keresni a töltöttségi szint és alakváltozás között. Az elemzés célja egy átlagos alakváltozási adat meghatározása, amely segítségével akár villamos paraméterek mérése nélkül meghatározhatóvá válik a még rendelkezésre álló energia.

2. Mérési eljárás

A töltöttségi szint és az alakváltozás összefüggésének a megállapításához több akkumulátoron is méréseket végeztünk. A teszteket 3db 5Ah lítium polimer akkumulátoron hajtottuk végre. A cellák méretben és kapacitásban is megegyezők voltak, egyedül a gyártási időben voltak eltérések. A mérések során új és elhasználódott cellát is felhasználtunk a következő eloszlásban:

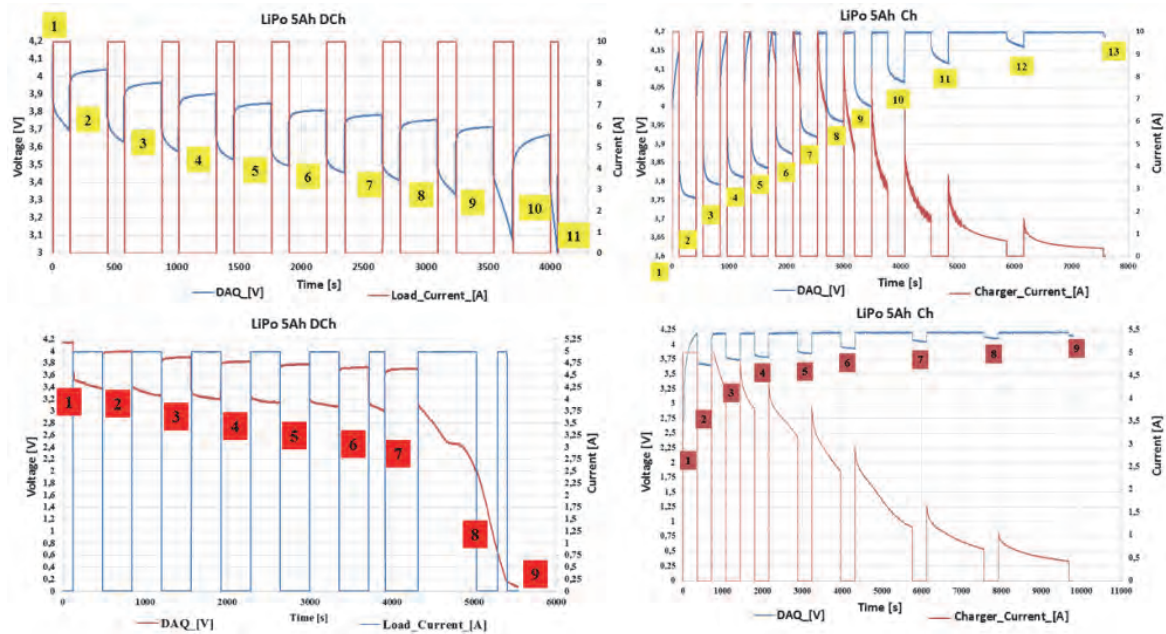
- Az 1. sorszámú 80%- kapacitású cellával töltés és kisütés 3V-ig.
- Az 1. sorszámú cellával 6 hónappal később.
 - Kapacitás teszt: töltés és merítés 3V-ig.
 - Rosszállapot elérése: kisütés 0V-ig, töltés.
- A 2. sorszámú elhasználódott cella: töltés és merítés 0V-ig.
- A 3. sorszámú új cella: töltés és merítés 3V-ig.

Összesen 5 töltési és 5 kisütési vizsgálatot végeztünk el. 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 360 s után megszakítás és digitalizálás.

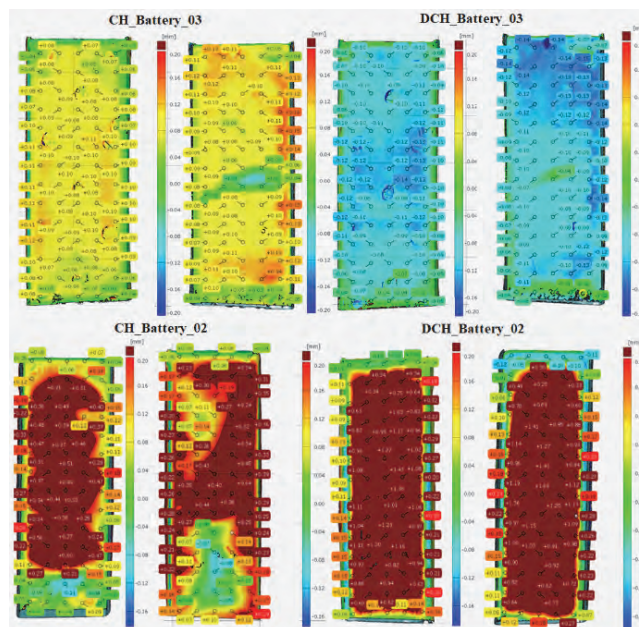
- Általánosan ebben az esetben is kép készült: 0%, 10%... 90% és 100% töltöttségi szintjéről is.
- Akkumulátor csere, ezeket a lépéseket mind cellán elvégeztük.

A következő ábrán egy teljesen lemerített és egy 3V-ig merített cella töltési és kisütési áram, feszültség profilja látható:



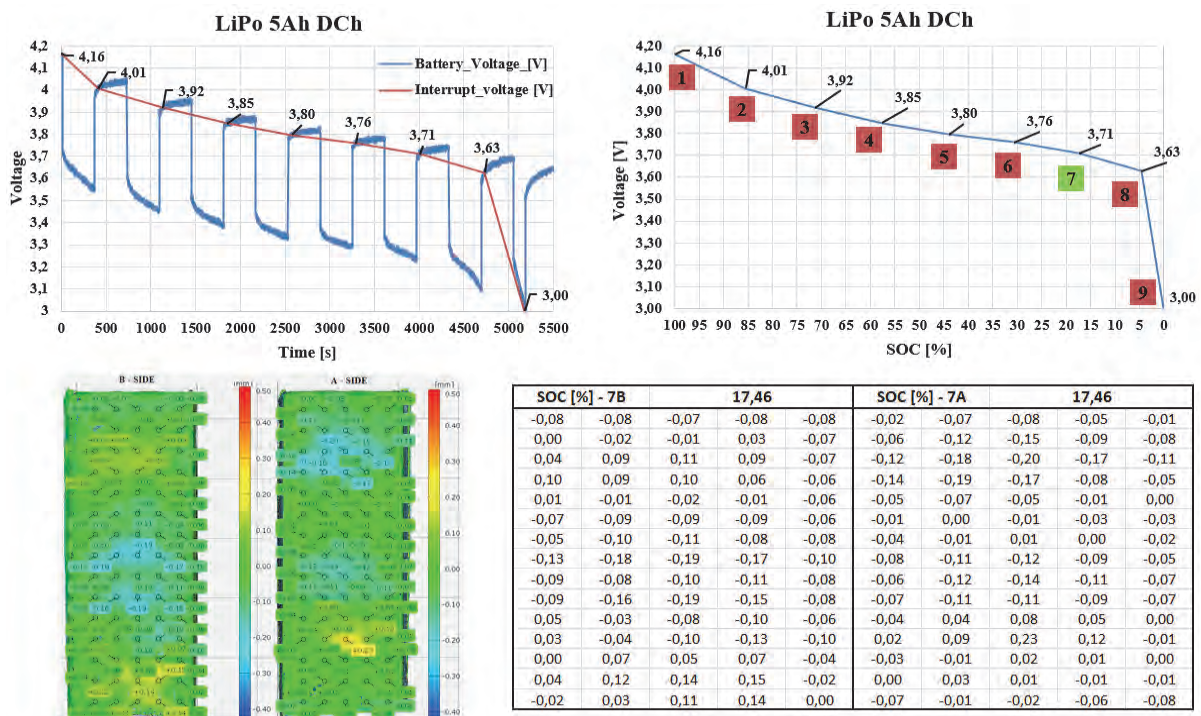
1. ábra A LiPo akkumulátorok töltési és merítési karakterisztikái

Az ábra felső részén az egyes számú tesztelés során kapott feszültség/ áram diagramok láthatóak, balról a kisütés során, jobbról pedig a töltés során. Az ábra alsó részén a kettes számú cella eredményei láthatóak, ebben az esetben 0V-ig merítettük az akkumulátort. Ebben az esetben is balról a kisütés során, jobbról pedig a töltés során kapott feszültség/ áram profilok láthatóak. A következő ábrán néhány a digitalizáció után kapott kép látható:



2. ábra A DIC technika segítségével rögzített alakváltozási képek

Az ábrán négy mérés eredményei láthatóak, minden esetben feltüntettük az akkumulátor A (a kép pár jobb oldalán) és B (a kép pár bal oldalán) oldalát is. Látható, hogy a cellák aszimmetrikusan és amorf módon változnak. Általános esetben töltés során púposodnak és kisütés során összehúzódnak. A 3. ábrán látható állapotok a kezdeti, referencia állapottól való legnagyobb eltérést mutatja be, tehát a töltés során a 100% SOC, kisütés során pedig a 0% SOC. A bal felső sarokban látható képen egy teljesen új cella alakváltozása látható az első töltés során, a jobb felső sarokban pedig ugyanezen cella lemerült állapotban figyelhető meg. Az alsó ábrákon a 2. számú akkumulátor (4-számú mérés), egy már hibás LiPo cella méréséből származó képek láthatóak. A bal alsó sarokban a töltés során kapott eredmények, a jobb alsó sarokban pedig a teljesen, 0V-ig merített állapot figyelhető meg. A hibás esetről megfigyelhető, hogy ilyen mélymerítés hatására a cella összehúzódása helyett drasztikus púposodás következik be. Ezen néhány mélymerítés alapján megfigyeltem, hogy 3V alatti tartományban az összehúzódást felváltja a púposodás. Ennek igazolására azonban több, hasonló jellegű mérés szükséges, ez viszont nem képezi részét a jelenlegi publikációnak. Az adatok feldolgozása látható a következő ábrán:

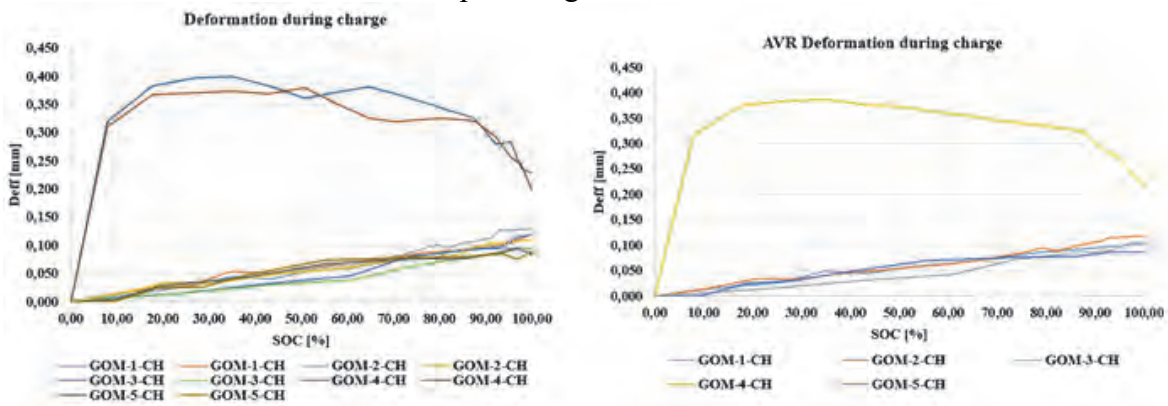


3. ábra A mérési adatok mentése

Az ábra bal felső sarkában a 2. számú cella merítése során kapott eredmények láthatóak, a feszültség diagram mellett ábrázoltuk a megszakítások pontjait is. A jobb felső ábrán, ugyan ezen pontok láthatóak, de már a töltöttségi szint függvényében. A töltöttségi szint meghatározásához a coulomb counting módszert használtuk. A diagramon zöld jelölést kapott a 7. digitalizálási pont, ezt mutatja be részletesen az ábra alsó része. A bal alsó sarokban a digitalizációs adatok láthatóak, jobb alsó sarokban pedig a töltöttségi szint függvényében tárolt adat mátrix. Az adatok töltöttségi szinthez rendelése után az ugyanazon az oldalon lévő értékeket összesítettük. Így megszakításonként 2 alakváltozási adatot hoztunk létre, külön az A oldalra és külön a B oldalra.

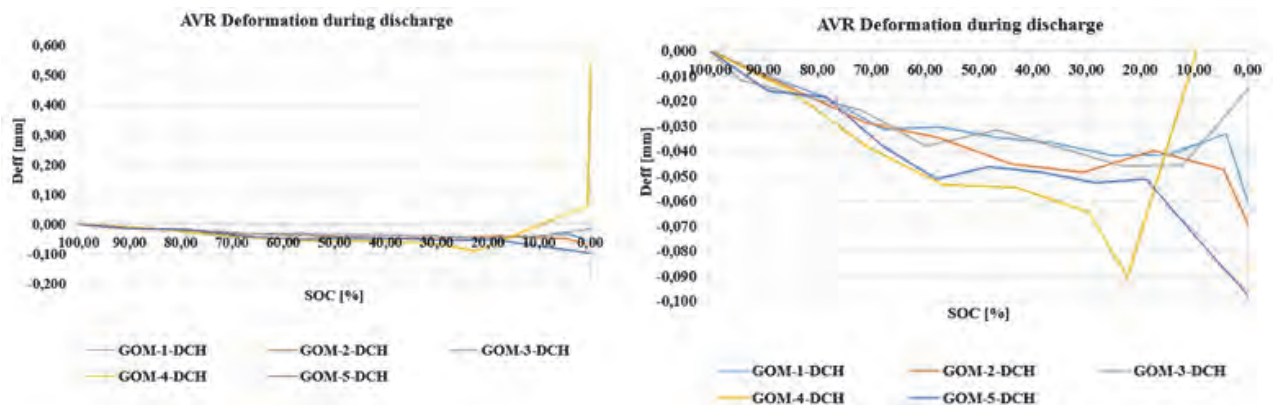
3. Mérési eredmények

A mérések során eltérő számú megszakítás történt. Ennek az oka, hogy a kisütés során egyes esetekben a cella gyorsabban lemerült. A töltés során keletkezett digitalizációs pontokban is vannak eltérések, amelyek a cella gyorsabb feltöltődése vagy mérési idő gyorsítása miatt keletkeztek. Egyes esetekben a töltés végén már 10, 20 percenként készítettünk képet, mivel ilyenkor már a betett energia is kevesebb, így a megfigyelések alapján az alakváltozás mértéke is kisebb. Továbbá, mivel minden esetben a töltöttségi szint függvényében tároljuk az adatok, ezért a későbbiekben sem fog problémát okozni az eltérő számú digitalizációs pont. Viszont az eltérő számú adatok egységesíteni kellett. Az összesítés során 10% SOC-ként minden méréshez hozzá rendeltük a lineáris interpolációval meghatározott alakváltozási értéket. A következő ábrán a különböző mérések során kapott átlagos alakváltozás látható:



4. ábra A töltés során fellépő átlagos alakváltozás

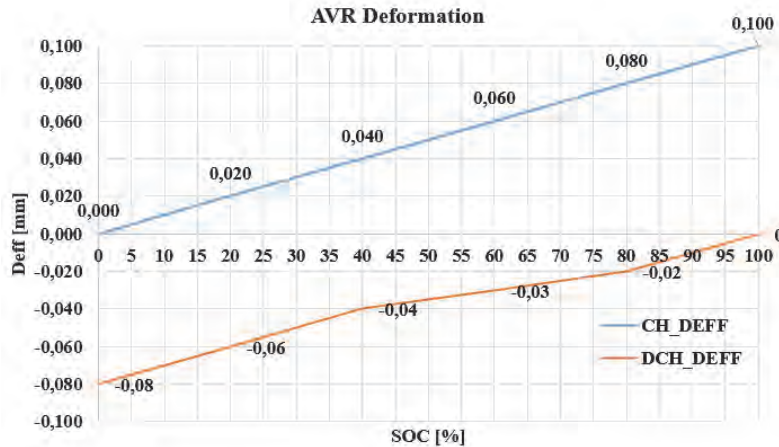
Az ábra bal oldalán az egyes mérés során kapott eredmények láthatóak külön az A és B oldalról. A valóságban nagyon nehéz a két oldalt külön-külön kezelni így egy összesített eredmények láthatóak a jobb oldalon. Az eredmények nagyon hasonlóságot mutatnak, kivéve a 4. számú teszt eredményei. Ezen vizsgálat során használtuk fel a teljesen elhasználódott cellát. Az ábrán megfigyelhető, hogy a cella nagy mértékű púposodása már a töltés kezdeténél elkezdődik. A későbbiek, az akkumulátor állapot felmérés során ez hasznos információ lehet. A kisütés során hasonló képen vizsgáltuk a cellát, szintén 5 teszt eredményének az összesítése látható a következő ábrákon:



5. ábra A kisütés során fellépő átlagos alakváltozás

Az ábra alapján megállapítható, hogy az összehúzó kezdeti szakaszában minden esetben nagyon hasonló mértékű. Kritikus szakasz most is az alacsony töltöttségi szintnél jelentkezett,

továbbá túlmerítés esetén (4. teszt) az összehúzódást púposodás váltja fel. Az energia kivétel kb. 30%-ig hasonló jellegű, utána viszont a cella állapot alapján szétcsúszik az alakváltozás. A 3.-4. teszt során merítettük túl a cellát, látható is, hogy ez a két eredménynél a kisütés végén visszahúzódást tapasztaltunk. Valamint az is megfigyelhető, hogy 5. számú új cella esetében a legkisebb az alakváltozás. A következő ábrán az összesített összehúzódás és púposodás látható:



6. ábra Összesített alakváltozási tartományok

Az ábrán látható, hogy átlagosan a különböző állapotú lítium polimer cellák, hogyan változnak. Megfigyelhető, hogy a töltés és a kisütés mértéke eltér. Ennek az oka, hogy több túlmerítést és rossz cellát is felhasználtunk így az átlag valamelyest a púposodás irányában mozdult el. A későbbiekben ennek a pontatlanságnak a megoldására a vártól nagyban eltérő adatok szűrni fogjuk. Valamint kritikus régiók kijelölésével, súlyozásával próbáljuk az alakváltozás és a töltöttségi szint között felállított tartományt pontosítani.

4. Összegzés

Az általunk végzett mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az alakváltozása és a töltöttségi szint között van összefüggés. Ezen néhány mérés alapján: 0,1mm és -0,1mm között változik átlagosan a cella mérete töltés és kisütés során. Fontos azonban megjegyezni, hogy a most bemutatásra került tesztek vegyesen tartalmaznak teljesen új, közepes és teljesen elhasznált akkumulátort is, így az összefüggés további pontosításra szorul. A későbbiekben a mindennapi használtban lévő cellákkal végzünk további méréseket így meghatározva egy általános összefüggést az alakváltozás és a töltöttségi szint között. Az eredmények tovább pontosíthatóak lesznek a későbbiekben a kritikus régiók kijelölésével. További fontos megfigyelés, hogy a módszer akár akkumulátor állapotfelméréshez is felhasználható lesz.

5. Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] D. N. T. How, M. A. Hannan, M. S. Hossain Lipu, and P. J. Ker, “State of Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Using Model-Based and Data-Driven Methods: A Review,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 136116–136136, 2019
- [2] A. Fotouhi, D. J. Auger, K. Propp, S. Longo, and M. Wild, “A review on electric vehicle battery modelling: From Lithium-ion toward Lithium-Sulphur,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1008–1021, 2016
- [3] Y. Wang et al., “A comprehensive review of battery modeling and state estimation approaches for advanced battery management systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 131, no. July, p. 110015, 2020
- [4] F. A. Shah, S. Shahzad Sheikh, U. I. Mir, and S. Owais Athar, “Battery health monitoring for commercialized electric vehicle batteries: Lithium-ion,” *5th Int. Conf. Power Gener. Syst. Renew. Energy Technol. PGSRET 2019*, no. August, pp. 1–6, 2019
- [5] J. Yi, U. S. Kim, C. B. Shin, T. Han, and S. Park, “Three-Dimensional Thermal Modeling of a Lithium-Ion Battery Considering the Combined Effects of the Electrical and Thermal Contact Resistances between Current Collecting Tab and Lead Wire,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 160, no. 3, pp. A437–A443, 2013
- [6] Mallarapu, A., Kim, J., Carney, K., DuBois, P., Santhanagopalan, S., *Modeling Extreme Deformations in Lithium Ion Batteries*, eTransportation,
- [7] M. Gomercic and D. Winter, “Robot-based 3D imaging in industrial inspection,” *2nd IEEE Int. Conf. Ind. Informatics, INDIN’04*, pp. 421–424, 2004
- [8] J. Peterka, L. Morovič, P. Pokorný, M. Kováč, and F. Hornák, “Optical 3D scanning of Cutting tools,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 421, pp. 663–667, 2013
- [9] E. M. C. Jones, M. N. Silberstein, S. R. White, and N. R. Sottos, “In Situ Measurements of Strains in Composite Battery Electrodes during Electrochemical Cycling,” *Exp. Mech.*, vol. 54, no. 6, pp. 971–985, 2014
- [10] C. Dai et al., “In situ strain measurements and stress analysis of SiO@C composite electrodes during electrochemical cycling by using digital image correlation,” *Solid State Ionics*, vol. 331, no. September 2018, pp. 56–65, 2019
- [11] P. K. Leung et al., “Real-time displacement and strain mappings of lithium-ion batteries using three-dimensional digital image correlation,” *J. Power Sources*, vol. 271, pp. 82–86, 2014
- [12] J. Luo, C.Y. Dai, Z. Wang, K. Liu, W.G. Mao, D.N. Fang, X. Chen, “In-situ measurements of mechanical and volume change of LiCoO₂ lithium-ion batteries during repeated charge–discharge cycling by using digital image correlation”, *Measurement* (2016)
- [13] R. Tao, J. Zhu, Y. Zhang, W. L. Song, H. Chen, and D. Fang, “Quantifying the 2D anisotropic displacement and strain fields in graphite-based electrode via in situ scanning

electron microscopy and digital image correlation,” *Extrem. Mech. Lett.*, vol. 35, p. 100635, 2020

- [14] 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.
- [15] S. Kocsis Szürke, S. Szalai and I. Lakatos, "Battery Deformation Measurement with DIC Technique," 2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus & Technologies (SIELA), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167109.

Állandó mágneses szinkron motorok érzékelő nélküli kezdeti szöghelyzet meghatározása

Sensorless initial position detection for permanent magnet synchronous motors

Szalay István^a, Fodor Dénes^b

^aPannon Egyetem, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
szalay.istvan@mk.uni-pannon.hu

^bPannon Egyetem, Járműmechanikai és Automatizálási Kutatócsoport
fodor@almos.uni-pannon.hu

Kivonat: Ebben a cikkben a légmagos tekercselésű állandó mágneses szinkron motorok érzékelő nélküli kezdeti szöghelyzet meghatározása és a kapcsolódó villamos gép modellezés terén elért eredményeinket ismertetjük. A hagyományos lineáris fluxusmodellt kibővítettük egy négyzetes taggal, amely lehetővé teszi a mágnes polaritás meghatározását is. Kidolgoztuk a négyzetes tag együtthatóit magába foglaló Hesse-mátrixok Park-transzformációját, és az elemeit mérési úton meghatároztuk. A mérésekre automatizált mérőkörnyezetet építettünk ki, amely egyben az érzékelő nélküli módszer fejlesztésére is szolgált. A kidolgozott érzékelő nélküli módszer folytonos négyszög feszültségjel betáplálást alkalmaz. A bemutatott számítási algoritmus a kezdeti szöghelyzetet átlagosan 1° villamos szöghibával képes meghatározni, és a polaritást képes a forgórész minden szöghelyzetében helyesen felismerni.

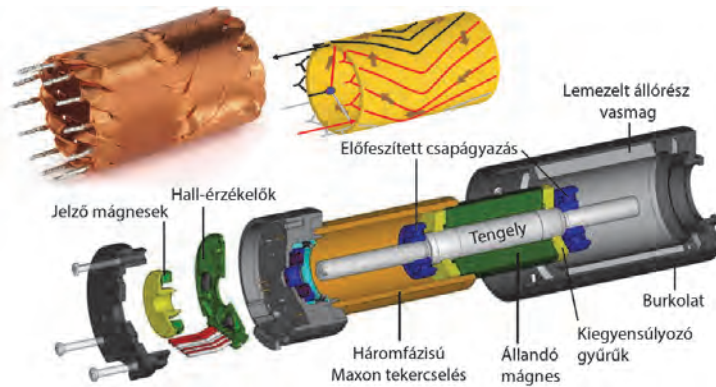
Kulcsszavak: állandó mágneses szinkron motor, érzékelő nélküli hajtás, polaritás felismerés

Abstract: In this paper, we present the results of the research and development of sensorless initial position detection algorithm for a slotless permanent magnet synchronous motor, as well as the related technics applied in PMSM modelling. We extended the traditionally linear flux-current model to include the quadratic term which makes it possible to detect the rotor magnet polarity. We present the Park transform of the Hessian matrix composed of the coefficients of the quadratic term. We determined the rotor position dependence of the Hessian's components through measurements. We built a PMSM drive to develop and test our initial position detection algorithm that uses non-modulated square voltage injection. The presented algorithm is capable to determine the rotor position at standstill with an average error of 1 electrical degree and detect magnet polarity at any rotor position.

Keywords: permanent magnet synchronous motor, sensorless drive, polarity detection

1. Bevezetés

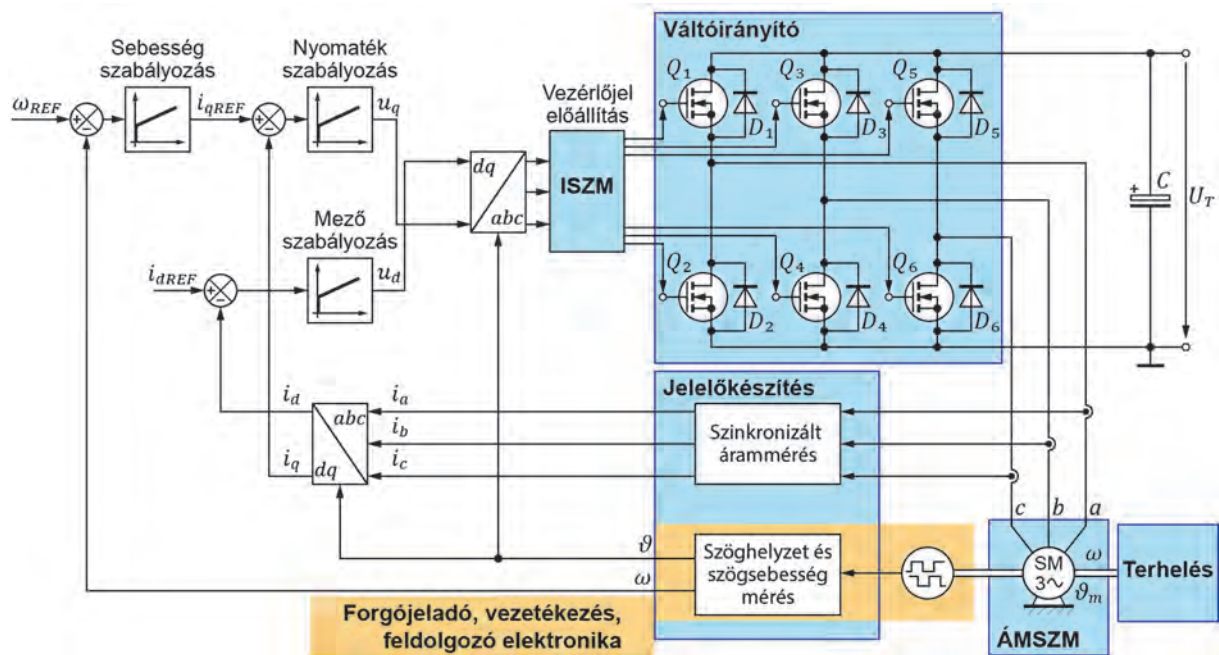
Napjainkban a mechatronikában alkalmazott szervo beavatkozó és mozgató egységek legnagyobb részt szabályozott villamos hajtásokat alkalmaznak. Ezen korszerű hajtások nagy része váltakozó áramú, frekvenciaváltóról táplált villamos gépet, aszinkron vagy szinkron motort alkalmaz. A precíziós hajtások területén az állandó mágneses szinkron motorok (ÁMSZM, angolul permanent magnet synchronous motor, PMSM), a nagy hatásfok, a jó nyomatékviszony és a nagy teljesítmény/tömeg arány miatt egyre elterjedtebben kerülnek alkalmazásra. A kisteljesítményű hajtásokban előszeretettel alkalmazzák a légmagos tekercselésű ÁMSZM-eket (1. ábra).



1. ábra. A légmagos tekercselésű állandó mágneses szinkron motorok jellemző felépítése

2. Az állandó mágneses szinkron motoros hajtások elemei

Az ÁMSZM hajtásban a lehető legnagyobb, lüktetésmentes nyomaték eléréséhez a hajtás szabályozórendszerének elengedhetetlenül ismernie kell a forgórész pillanatnyi szöghelyzetét. Ennek meghatározása hagyományosan forgójeladó alkalmazásával: Hall-érzékelőkkel, enkóderrel vagy rezolვეrrel történik. A hagyományos, forgójeladós hajtás felépítését ismerteti a 2. ábra.



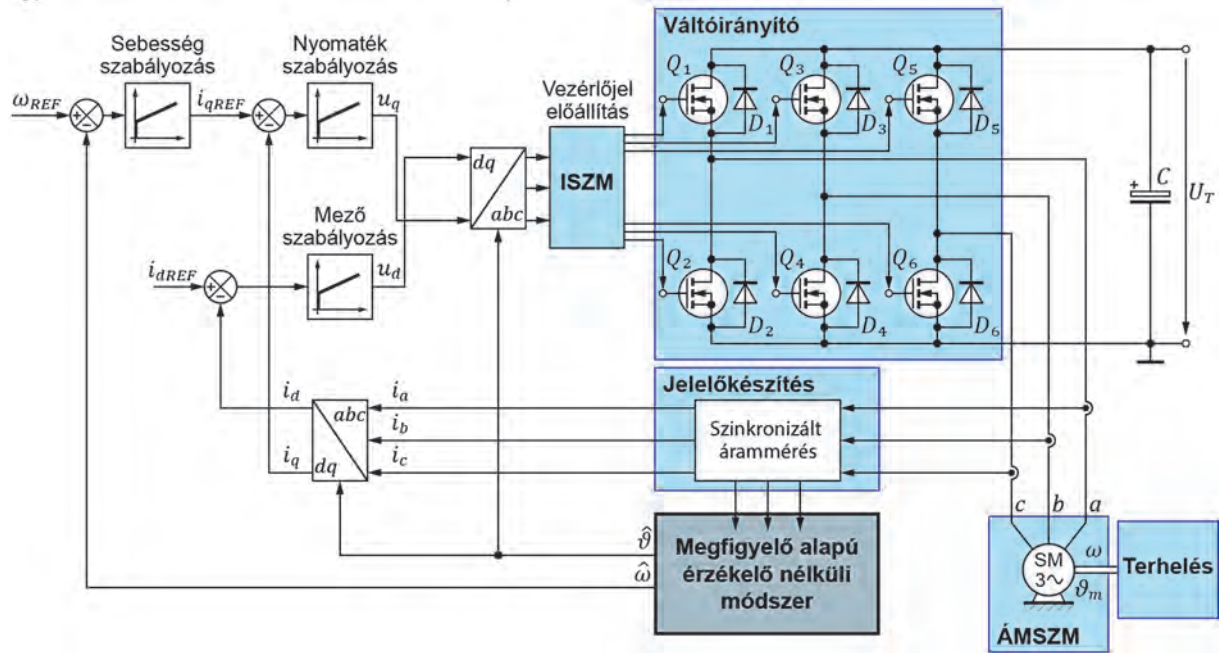
2. ábra. A mezőorientált szabályozást megvalósító állandó mágneses szinkron motoros hajtás hagyományos forgójeladóval

A hajtás szabályozásához legalább két fázis áramának mérésére és olyan forgójeladóra van szükség, amely a forgórész abszolút szöghelyzetét villamos szögben legalább 60° pontossággal meg tudja adni.

A forgójeladó és a hozzá kapcsolódó feldolgozó elektronika jelentősen megnövelik a gyártási költségeket és a kábelezési igényt, a kisebb motoroknál méretbeli problémát is jelentenek, és zord ipari körülmények között a hibalehetőségek számát is növelik. Ezért nem érdektelen olyan módszereknek, eljárásoknak a kutatása, amelyek segítségével a tengelyre szerelt forgójeladó elhagyható a hajtásból. Az ezt megvalósító eljárásokat a szakirodalomban leggyakrabban érzékelő nélküli módszereknek nevezik.

Megfigyelő alapú érzékelő nélküli módszerek

A hagyományos érzékelő nélküli módszerekben a forgórész vagy a forgórész fluxus szög helyzetének becslése az állórész feszültségegyenlete alapján, állapot megfigyelőt alkalmazva, például Kálmán-szűrővel történik (3. ábra). Közös jellemzőjük, hogy érzékenyek a feszültség és az árammérés, illetve a gépparaméterek megadásának pontosságára. Komoly problémát jelent, hogy a szögsebesség csökkenésével általában a feszültségek és az áramok is csökkennek, és emiatt a becslés, és vele a szabályozás teljesítménye gyorsan romlik. Álló helyzetben pedig a hagyományos érzékelő nélküli módszerek nem tudják megállapítani a forgórész szög helyzetét, ami miatt nem tudják biztosítani a nyomaték szabályozhatóságát, és így a motor rántásmentes, maximális nyomatékkal történő indítását sem [1].



3. ábra. Érzékelő nélküli állandó mágneses szinkron motoros hajtás a forgójeladót kiváltó állapotmegfigyelővel

Jelbefecskendezés alapú érzékelő nélküli módszerek

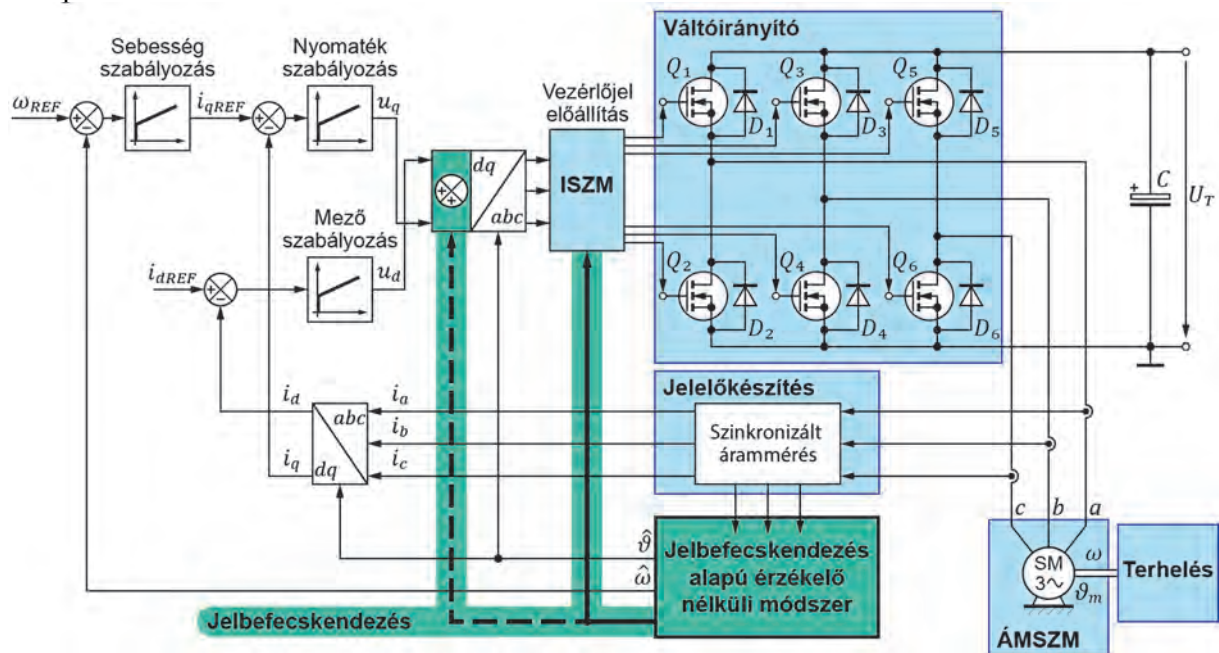
A hagyományos módszerek gyengeségeinek kiküszöbölésére megjelentek egy újszerű ötletre alapuló érzékelő nélküli technikák, amelyek lényege, hogy egy rendszerint periodikus jelet „befecskendeznek” a motorba az frekvenciaváltó segítségével (4. ábra). A befecskendezett jelre „válaszol” a motor. A válasz magán hordozza az forgórész szög helyzetének hatását, és ez alapján becsülhető a forgórész szög helyzete és szögsebessége [2].

A jelbefecskendezésen alapuló érzékelő nélküli módszerek megoldják a hagyományos, visszaható elektromotoros erőn alapuló módszerek fő problémáját, mivel kis szögsebesség mellett és álló helyzetben is képesek információt szolgáltatni a forgórész szög helyzetéről. Alkalmazásukkal tehát nemcsak szögsebesség és nyomaték szabályozás, hanem szög helyzet szabályozás is megvalósítható.

Az alkalmazott jel frekvenciája és a vizsgált hatások alapján a jelbefecskendezésen alapuló módszereket két csoportba lehet sorolni: kis- és nagyfrekvenciás módszerekre. A befecskendezés lehet folytonos vagy szakaszos. A hajtás kialakításától függően lehetséges feszültségjel vagy áramjel befecskendezése. A befecskendezett jel lehet négyszögös, szinuszos vagy más alakú. A befecskendezés történhet az impulzusszélesség-modulált betápláláson keresztül, vagy azt megkerülve.

Jelen cikkben egy Maxon EC-4pole 252463 típusú, 2 póluspáros, légmagos tekercselésű ÁMSZM-en végzett mérések eredményeit és egy kezdeti szög helyzet meghatározó algoritmust

mutatunk be. Az algoritmus a modulációt átmenetileg kikapcsolva, folytonos négyszögjel betáplálással működik.



4. ábra. A jelbefecskendezés alapú érzékelő nélküli állandó mágneses szinkron motoros hajtás

3. Az állandó mágneses szinkron motor modellezése

A jelbefecskendezés alapú érzékelő nélküli módszerekben a nagyfrekvenciás betápláláshoz igazított, módosított motor modellt használnak. A motor matematikai modellje, azaz a motor működését és jellemző tulajdonságait reprezentáló egyenletrendszer a térfázor-elmélet alapján alkotható meg, amely a váltakozó áramú villamos gépek matematikai modellezésében és mezőorientált vektoriális szabályozásukban használatos módszer [3]. Az állandó mágneses szinkron motorok összetett elektromechanikus rendszerek, modellezésük során célszerű a villamos és a mechanikus részt szétválasztani, illetve összetettsége miatt a fluxus modellt a villamos modellen belül elkülöníteni.

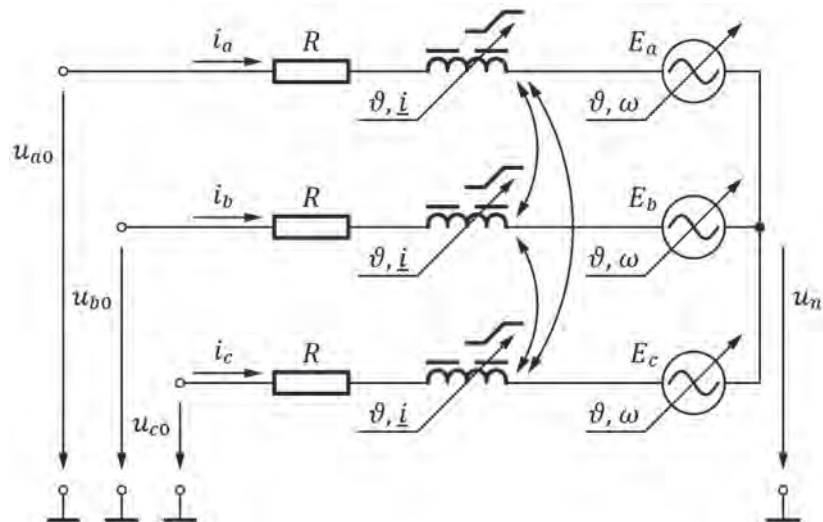
A motor villamos részének matematikai modellje a helyettesítő kapcsolás alapján felírható feszültségegyenlet (5. ábra). A villamos mennyiségek és egyenletek felírhatók többek között az abc háromfázisú, állórészhez rögzített koordináta rendszerben és a $dq0$ kétfázisú, forgórészhez rögzített rendszerben. A feszültségegyenlet a két említett rendszerben:

$$\underline{u}_{abc} = R\underline{i}_{abc} + \frac{d\underline{\Psi}_{abc}}{dt}$$

$$\underline{u}_{dq} = R\underline{i}_{dq} + \frac{d\underline{\Psi}_{dq}}{dt} + j\omega\underline{\Psi}_{dq}$$

A modell második fő eleme a motor mozgásegyenlete, ami kifejezi, hogy annyi elektromágneses nyomaték jön létre, ami elegendő ahhoz, hogy a terhelő nyomatékot, a súrlódási nyomatékot és a gyorsítás alatt fellépő tehetlenségi nyomatékot ellensúlyozza. Ez alapján az alábbi nyomatékegyenletet írhatjuk fel a motor forgórészére:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{3}{2} z_p |\underline{\Psi}_{dq0} \times \underline{i}_{dq0}| - M_S - M_T$$



5. ábra. Az állandó mágneses szinkron motor helyettesítő kapcsolása

Az állandó mágnes hatása a tekercselésre

Az állandó mágneses szinkron motorok feszültség egyenletei olyan differenciálegyenlet-rendszerek, amelyekben a feszültségek, az áramok és a tekercsfluxusok időfüggvények, és közülük csak a feszültség függvények ismertek (ismert bemenetek), az áram és a tekercsfluxus függvények ismeretlenek. Matematikai szempontból problémát jelent, hogy mindegyik felírási mód esetén minden egyes differenciálegyenletben két ismeretlen függvény van, minden egyenletben ismeretlen az áram és a tekercsfluxus függvény is, azaz nincs elegendő számú független egyenlet, a modell nem oldható meg. A hiányzó független egyenleteket a fluxus-áram függvény szolgáltatja.

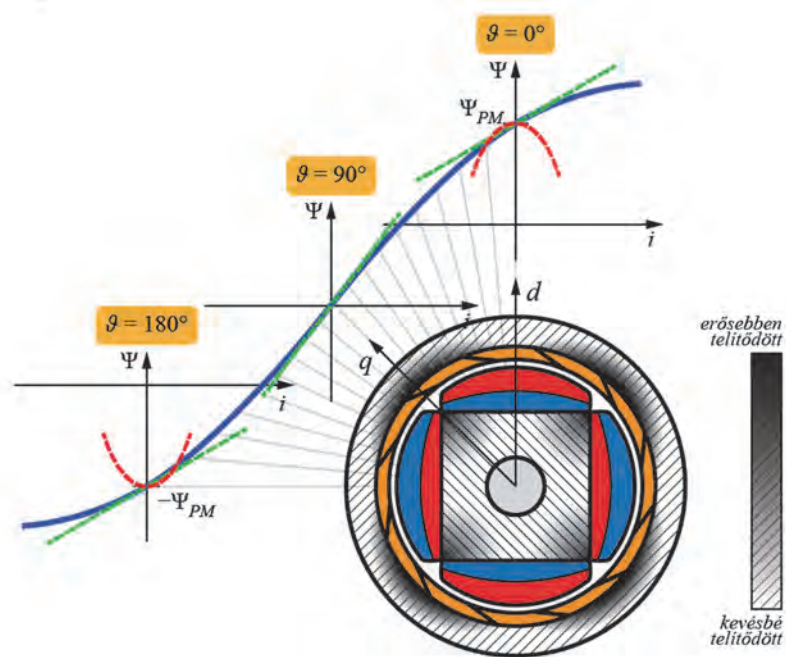
A tekercsfluxus egy vektormennyiség, amelynek értéke függ a koordináta rendszernek megfelelő áramvektortól és a forgórész szöghelyzetétől. A függvény pontos alakját általában nem ismerjük, de jellegére következtethetünk a villamos gép keresztmetszete és az alkatrészek, elsősorban a vasmagok mágnesezési görbéi alapján (6. ábra). A fluxus-áram függvény szokásos kezelése során Taylor-sorfejtést végzünk az áramvektor elemei szerint a lineáris tagig. Ezzel olyan közelítő hatványalakot kapunk, amiben az áramok hatványai szerepelnek és aminek az együtthatói szöghelyzet függők lehetnek. A sorfejtett alakban az áram szerint állandó tag a szöghelyzetfüggő állandó mágneses fluxus vektor, amelynek villamos szögben az első térbeli harmonikusa jelentős. A lineáris tag együttható mátrixa az induktivitás mátrix, amelynek villamos szögben a második térbeli harmonikusa jelentős. Amennyiben azonban olyan érzékelő nélküli szöghelyzet meghatározást kívánunk megvalósítani, amely álló helyzetben is képes felismerni a mágnes polaritást, a sorfejtést a négyzetes taggal ki kell egészíteni, amelynek együttható mátrixában az elemek ismételt első térbeli harmonikussal rendelkeznek.

A polaritás meghatározáshoz az állandó mágnes fluxusa azért nem használható fel álló helyzetben, mert a feszültségegyenletben a fluxus deriváltja szerepel. Ha nincs forgás, az állandó mágnes fluxusa nincs hatással feszültségegyenletre. Az induktivitások esetén az első térbeli harmonikus hiánya okoz gondot. A második harmonikusok miatt a forgórész szöghelyzete villamos szögben 180° bizonytalansággal állapítható csak meg. Ezért szükséges a négyzetes tagok figyelembevétele a polaritás meghatározás során.

Szűkítsük a gondolatmenetet első körben egy fázisra. Ennek fluxus-áram függvénye az alábbi négyzetes alakkal közelíthető:

$$\Psi(i, \vartheta) \approx \Psi_{PM}(\vartheta) + \left. \frac{\partial \Psi}{\partial i} \right|_{\vartheta} i + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 \Psi}{\partial i^2} \right|_{\vartheta} i^2$$

A 6. ábra szerint a fázis fluxus együtthatói a forgórész forgása során változnak. A Ψ_{PM} állandó mágneses fluxus egy villamos fordulat alatt az északi pólusnál maximummal, a délinél minimummal rendelkezik, és az első térbeli harmonikusa jelentős. A lineáris tag együtthatója a fázis öninduktivitása, amely a mágnesezési görbe első deriváltjával arányos. A pólusoknál, ahol a mágnesezési görbe laposabb, értéke minimális, a pólusok között (q-irányban) pedig maximális. A csúcserkékek mindegyikét kétszer veszi fel egy villamos fordulat alatt, és a második térbeli harmonikusa jelentős. A négyzetes tag együtthatója a mágnesezési görbe második deriváltja, ami a görbületével arányos. A görbület a pólusok között nulla, az északi pólusnál negatív, a déli pólusnál pozitív szélsőértékkel. Ez a fajta szögfüggés ismételt első térbeli harmonikust jelent.



6. ábra. Az állandó mágnesek és a motor kialakításának hatása a mágnesezési görbére

Ha kiterjesztjük a vizsgálatot a háromfázisú tekercselés mindhárom fázisára, akkor az állandó mágneses fluxusokból egy együttható vektort kapunk. A lineáris tag esetében kialakuló együttható mátrix, ami egyben a függvény Jacobi-mátrixa is, az induktivitás mátrix. Ezek tulajdonságai és kezelés módjaik ismertek a szakirodalomban. A négyzetes tag együtthatóinak kezelése ezeknél bonyolultabb, ugyanis a vektor értékű fluxus vektor szerinti második deriváltja $3 \times 3 \times 3$ elemet foglal magába, azaz vagy háromméretű mátrix, vagy harmadrendű tenzor alakban áll elő, és csak a matematikai a szakirodalomban találunk felhasználható információt, ahol a vektorváltozó szerinti második deriváltat Hesse-mátrixként ismerik. A kezelésének két módja lehetséges: tenzor alakra hozzuk a gépmodell többi részét is, vagy kétméretű mátrixszá lapítjuk a négyzetes együttható mátrixot. Jelen cikkben ez utóbbi módszert követtük, és a $\underline{\Gamma}_{abc}$ Hesse-mátrix lapjait egymás alá rendeztük, egy 9×3 -as mátrixot kapva:

$$\underline{\Psi}_{abc}(\underline{i}_{abc}, \vartheta) \approx \underline{\Psi}_{PM,abc}(\vartheta) + \underline{L}_{abc}(\vartheta)\underline{i}_{abc} + \frac{1}{2}(\underline{L}_3 \otimes \underline{i}_{abc}^T)\underline{\Gamma}_{abc}(\vartheta)\underline{i}_{abc}$$

A Hesse-mátrixoknak csak a matematikai tulajdonságai ismertek. Az eredeti háromméretű mátrix lapjai külön-külön szimmetrikusak, így csak 18 eleme független. A szakirodalomban nem ismeret az elemek szögfüggése és térbeli harmonikus tartalmuk, és ismeretlen volt a Park-transzformációja. Ez utóbbit és az inverzét sikerült elsőként a 9×3 -as alakot alkalmazva kidolgozni:

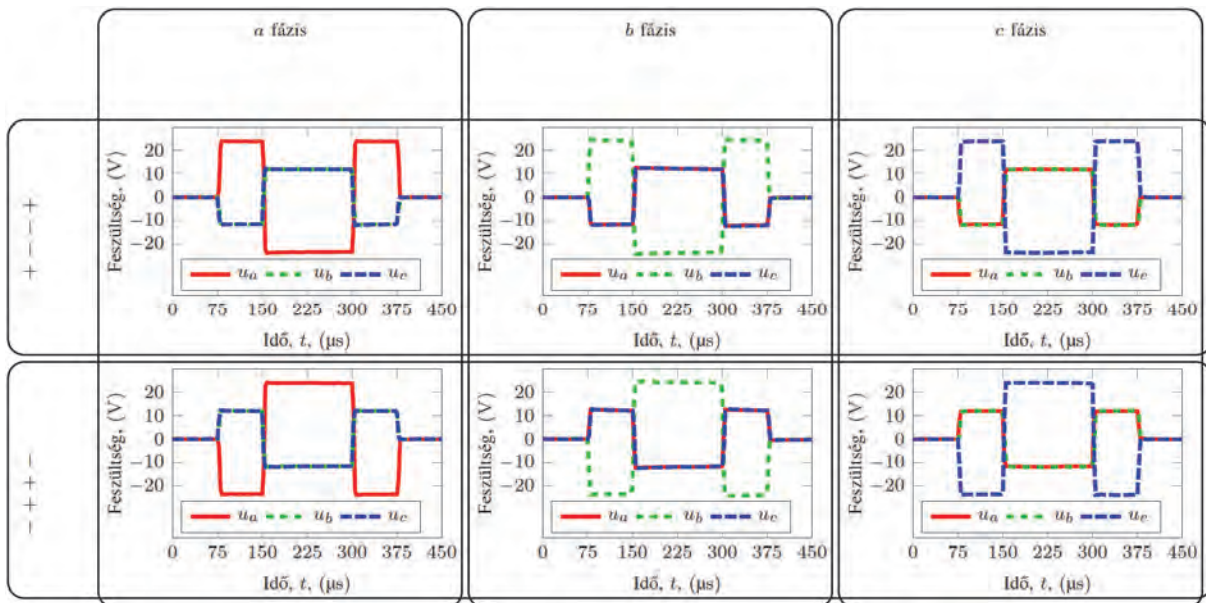
$$\underline{\underline{\Gamma}}_{dq0}(\vartheta) = \left(\underline{\underline{I}}_3 \otimes \underline{\underline{T}}^{T^{-1}}(\vartheta) \right) \left(\underline{\underline{T}}(\vartheta) \otimes \underline{\underline{I}}_3 \right) \underline{\underline{\Gamma}}_{abc}(\vartheta) \underline{\underline{T}}^{-1}(\vartheta)$$

$$\underline{\underline{\Gamma}}_{abc}(\vartheta) = \left(\underline{\underline{I}}_3 \otimes \underline{\underline{T}}^T(\vartheta) \right) \left(\underline{\underline{T}}^{-1}(\vartheta) \otimes \underline{\underline{I}}_3 \right) \underline{\underline{\Gamma}}_{dq0}(\vartheta) \underline{\underline{T}}(\vartheta)$$

Az abc-beli Hesse-mátrix elemeit mérési úton határoztuk meg, és ebből a fenti Park-transzformáció segítségével számítottuk a dq0-beli Hesse-mátrixot. Az előbbi esetén a korábban ismertetett indokok miatt első térbeli harmonikusokra számítottuk, utóbbinál pedig állandó, szögfüggetlen elemeket feltételeztünk. A mérésekre automatizált mérőkörnyezetet építettünk ki.

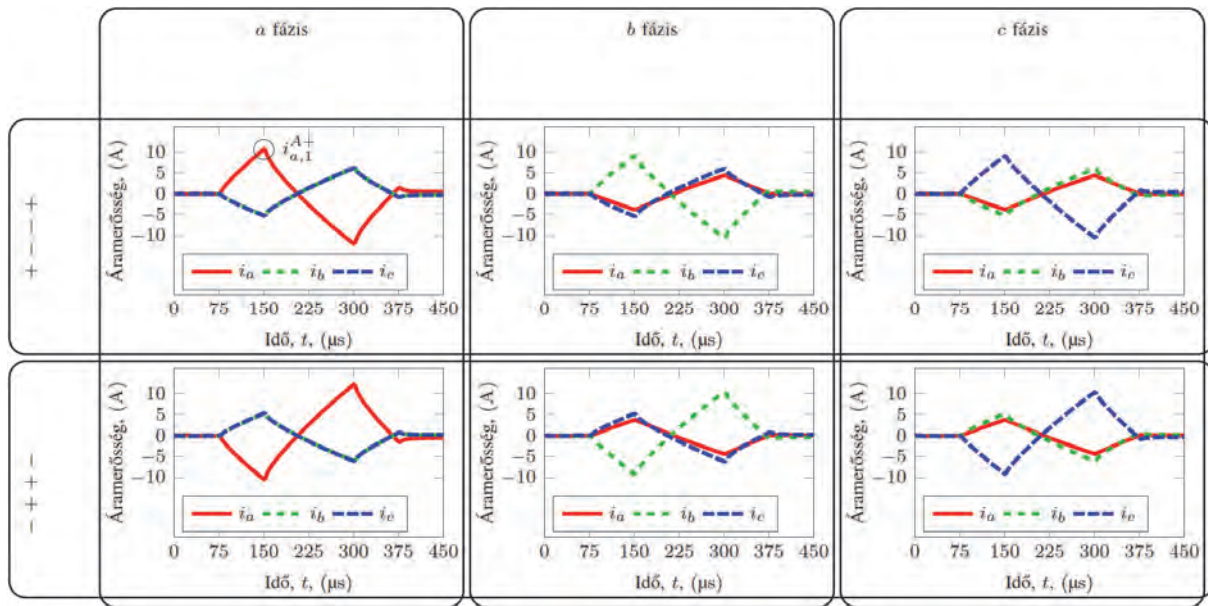
4. Négyyszögjel-befecskendezéses mérések

A méréseinket folytonos (nem modulált), kettős négyyszög alakú feszültségjel betáplálással végeztük, ugyanis ez a fluxus-áram függvény együtthatóinak meghatározására és egyúttal a kezdeti szöghelyzet meghatározó algoritmus mérési adatokkal történő ellátására is alkalmas. Folytonos feszültségjel betáplálás az abc-síkon gondolkodva csak a fázistengelyek irányában lehetséges, de mindegyik tengely esetén lehet pozitív vagy negatív irányú. Ez összesen 6 lehetőséget jelent. A feszültségjel alakjának megválasztásánál figyelembe vettük, hogy a kialakuló áram, bár rövid idő alatt lecseng, elég nagy értéket vehet fel. Ilyenkor fennáll a veszélye annak, hogy a vizsgálójel megmozdítja a forgórészt, amit el kívántunk kerülni. Ennek érdekében a feszültségjeleket úgy alakítottuk, hogy bár négyyszögjelek legyenek, de a kialakuló áram impulzusok legyenek szimmetrikusak. Ezért a pozitív irányban induló feszültségjeleket két időegységnyi negatív, majd egy időegységnyi pozitív szakasz követi, a negatív irányban indulókat pedig ennek a fordítottja. Az alkalmazott feszültségjeleket a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra. Az egy adott forgórész szöghelyzet mellett betáplált 6 feszültségjel összeállítás

A betáplált feszültségjelek hatására $\vartheta_m = 0^\circ$ mechanikai szöghelyzetnél kialakuló áramjeleket a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra. Az egy adott forgórész szöghelyzet mellett kialakuló 6×3 fázisáram-jel

A paraméteridentifikációhoz rögzítettük a teljes áramjeleket, de a kezdeti szöghelyzet meghatározó algoritmus csak az első áramcsúcsnál rögzített 18 mintát használta fel. Az ábrákon látható háromfázisú betáplálású méréseket 400 szöghelyzetben végeztük el, ami mechanikai szögben $0,9^\circ$, villamos szögben $1,8^\circ$ felbontást jelent. Ezen felül végeztünk egy- és kétfázist gerjesztő méréseket is azonos felbontással, a tesztmotorok kivezetett csillagpontjait felhasználva. Az így gyűjtött feszültség és áram idősorok alapján a legkisebb négyzetek módszerével identifikáltuk az induktivitás mátrix és a Hesse-mátrix elemeit, mind a 400 szöghelyzetben.

| <i>Jellemző</i> | <i>Érték</i> |
|----------------------------------|-----------------------|
| Névleges feszültség | 48 V |
| Indító nyomaték | 4070 mN m |
| Indító áram | 54,7 A |
| Kivezetés-kivezetés ellenállás | 878 mΩ |
| Kivezetés-kivezetés induktivitás | 350 μH |
| Nyomatékállandó | 74,5 mN m/A |
| Tehetlenségi nyomaték | 200 g cm ² |
| A póluspárok száma | 2 |

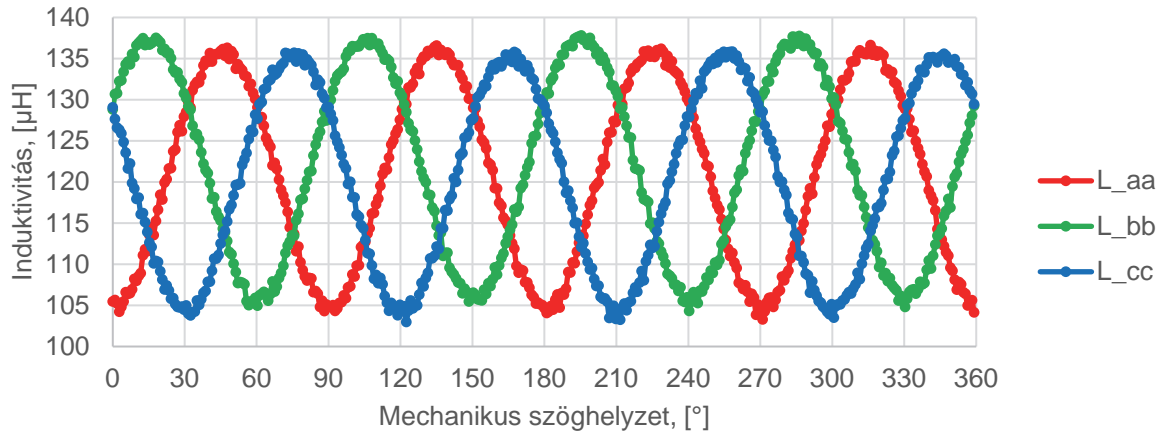
1. táblázat. A tesztmotorok jelentőséggel bíró katalógusadatai

5. Paraméter identifikációs eredmények

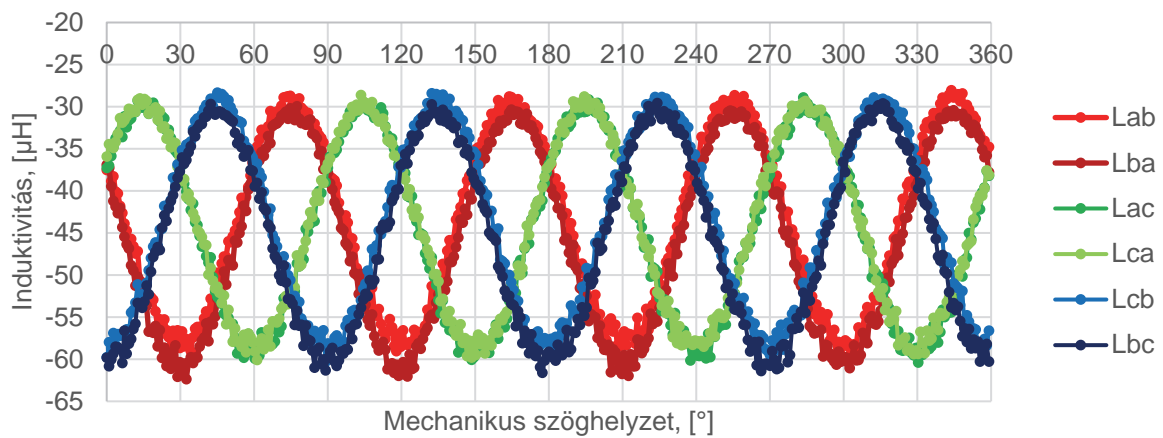
A paraméter identifikáció eredményeit a soron következő ábrák ismertetik. Az ábrákon a vízszintes tengely minden esetben a mechanikai szöghelyzet. Mivel a tesztmotor kétpóluspáros, a villamos szög ennek mindig a kétszerese.

Induktivitások

A 9. ábra ismerteti a öninduktivitásokat, és a 10. ábra a kölcsönös induktivitásokat.



9. ábra. Az identifikált öninduktivitás értékek

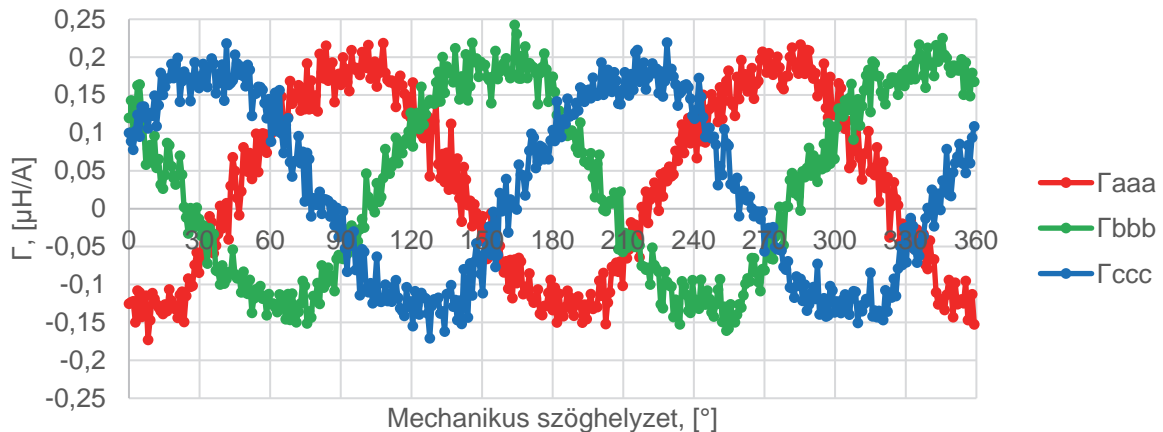


10. ábra. Az identifikált kölcsönös induktivitás értékek

Az induktivitások villamos szögben mind 180° -os periodicitást mutatnak, azaz a mágnesezési görbe alakja alapján megfogalmazott várakozásainknak megfelelően a második térbeli harmonikusuk a legjelentősebb.

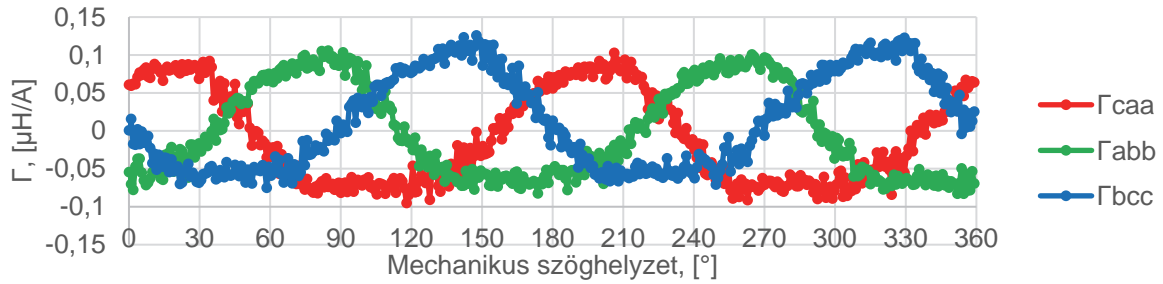
A Hesse-mátrix elemei

Az abc-beli Hesse-mátrix elemeit nagy számuk miatt több kisebb ábrán közöljük. Az eredeti háromméretű mátrix három főátlóbeli elemének szögfüggését ismerteti a 11. ábra.

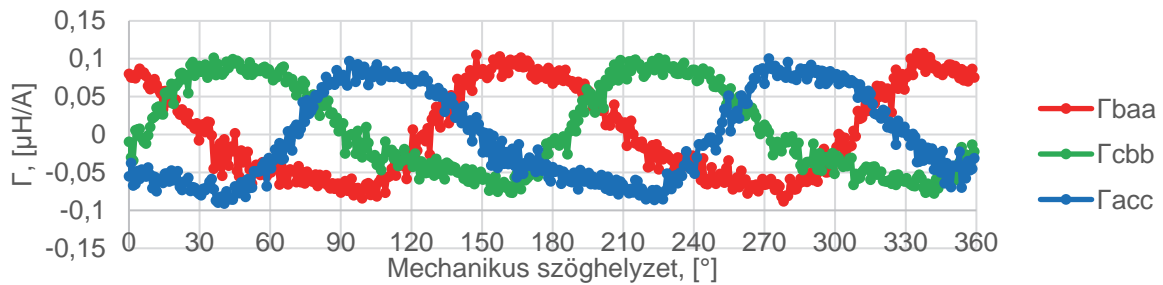


11. ábra. A Hesse-mátrix főátlóbeli elemei

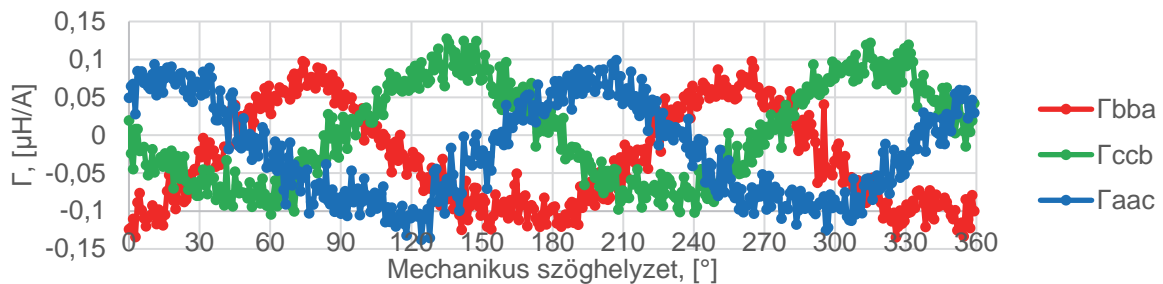
A fázisáramok négyzeteihez tartozó, lapátlóbeli elemek szögfüggését a 12. ábra és a 13. ábra ismerteti. Az áramszorzatokhoz tartozó további elemeket a 14. ábra és a 15. ábra ismerteti.



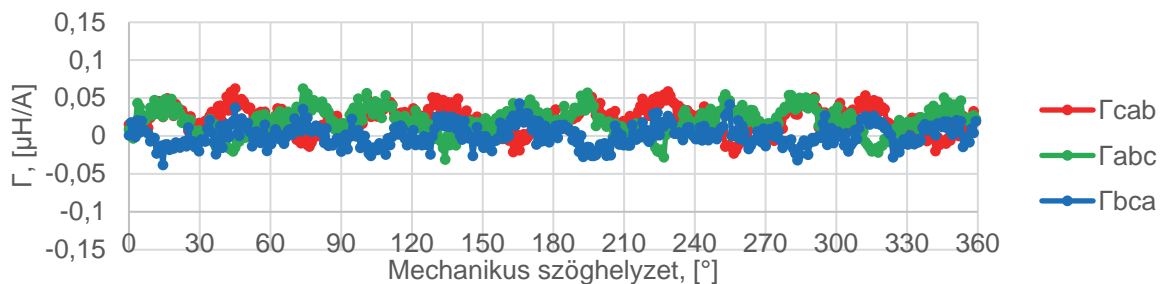
12. ábra. A Hesse-mátrix lapátlóbeli elemei



13. ábra. A Hesse-mátrix lapátlóbeli elemei



14. ábra. A Hesse-mátrix további elemei



15. ábra. A Hesse-mátrix további elemei

Az abc-beli Hesse-mátrix elemeiről az ábrák alapján megállapíthatjuk, hogy a periodicitásuk villamos szögben 360°-os, azaz az első térbeli harmonikusuk a legjelentősebb. Kivételt képeznek a 15. ábra elemei, ahol nem látható egyértelmű szögfüggés. A 360°-os periodicitás jelzi, hogy a Hesse-mátrix elemei, vagy a hatásuk a fázisáramokban alkalmas lehet a mágnespolaritás megállapítására.

Modellillesztés

A mért adatsorokat zaj terheli, a gép fázistekercselései nem teljesen azonosak, és a légmagos tekercselés miatt feltételezhetjük kisebb térbeli felharmonikusok meglétét a Hesse-mátrix elemei esetén. A modellillesztés során ezeket a tényezőket elhanyagoltuk, a fázistekercsek azonosságát, az első térbeli harmonikus kizárólagosságát, a fázisok 120°-os térbeli elosztását, és a dq0-rendszerben állandó értékű elemeket feltételeztük. Az ezeket legjobban kielégítő abc-beli ideális Hesse-mátrix az alábbi alakot veszi fel:

$$\underline{\underline{\Gamma}}_{abc}(\vartheta) = \begin{bmatrix} -\Gamma_0 \cos(\vartheta) & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta + 30^\circ) & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta - 30^\circ) \\ \cdot & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta - 150^\circ) & 0 \\ \cdot & \cdot & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta + 150^\circ) \\ \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta + 30^\circ) & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta - 150^\circ) & 0 \\ \cdot & \Gamma_0 \cos(\vartheta + 60^\circ) & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta - 90^\circ) \\ \cdot & \cdot & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta + 90^\circ) \\ \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta - 30^\circ) & 0 & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta + 150^\circ) \\ \cdot & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta - 90^\circ) & \frac{\Gamma_0}{\sqrt{3}} \cos(\vartheta + 90^\circ) \\ \cdot & \cdot & \Gamma_0 \cos(\vartheta - 60^\circ) \end{bmatrix}$$

A hozzá illeszkedő legjobb dq0-beli Hesse-mátrix:

$$\underline{\underline{\Gamma}}_{dq0} = \begin{bmatrix} -\frac{9}{4}\Gamma_0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3}{4}\Gamma_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3}{4}\Gamma_0 & 0 \\ -\frac{3}{4}\Gamma_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A mátrixok sajátossága, hogy az elemek amplitúdóit mindössze egy paraméterrel, a Γ_0 -lal meg lehet határozni. A Γ_0 értéke:

$$\Gamma_0 = 0,162 \frac{\mu\text{H}}{\text{A}}$$

Az abc-beli elemeknél látható $\sqrt{3} \approx 1,732$ elméleti amplitúdó arány a főátlóbeli és a többi elem között a mérések szerint 1,986. Ez kisebb, mint 10%, ami számunkra azt jelentette, hogy az elméleti modell elfogadhatóan jól illeszkedik.

6. Kezdeti szöghelyzet meghatározás

A kidolgozott kezdeti szöghelyzet meghatározó algoritmus a 8. ábra áramjeleinek első csúcserőértékeit használja fel. Ez összesen 18 áramértéket jelent. Az általuk hordozott szöghelyzet információ részben redundáns. A megfelelő elemek átlagolásával a mérési zaj csökkenthető, különbségképzéssel pedig a mágnes polaritására vonatkozó, a Hesse-mátrixok együtthatói által befolyásolt és az áramnégyzetektől függő összetevőket erősíthetjük fel.

Jelölje az áram csúcserőértékeknél az alsóindex a fázist, amiben az áram folyik, a felsőindex pedig a fázis, aminek az irányába a betáplálás történik, és mögötte az előjel az irányt. Elsőként az egy fázis irányába történő pozitív és negatív betáplálásokhoz tartozó áram csúcserőértékek abszolút értékeiből képzünk átlagot, illetve csúcserőértéket. Az „a” fázis irányában a következő összefüggések szerint számíthatjuk ezeket:

$$i_{aa} = \frac{1}{2}(i_a^{A+} - i_a^{A-}), \quad \Delta i_{aa} = i_a^{A+} + i_a^{A-}$$

$$i_{ba} = \frac{1}{2}(i_b^{A+} - i_b^{A-}), \quad \Delta i_{ba} = i_a^{A+} + i_a^{A-}$$

$$i_{ca} = \frac{1}{2}(i_c^{A+} - i_c^{A-}), \quad \Delta i_{ca} = i_a^{A+} + i_a^{A-}$$

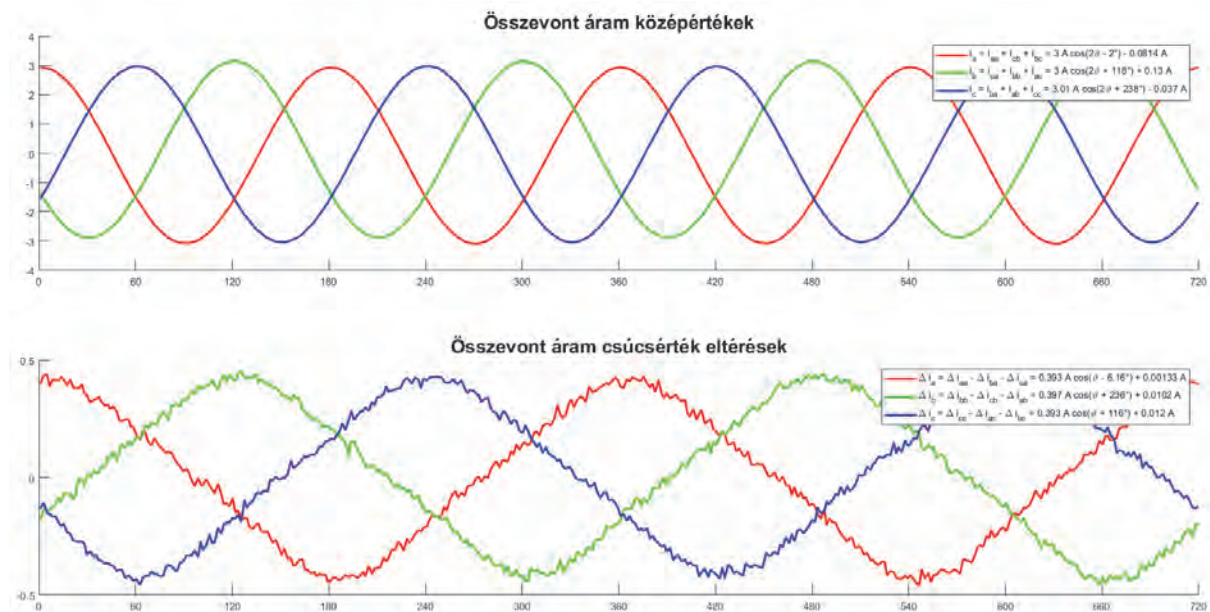
A „b” és „c” fázishoz tartozó 6 átlag és 6 különbség értéket a fentivel megegyező séma szerint számíthatjuk. Megvizsgáltuk az átlagok és a különbségek szöghelyzet függéseit, a következő újabb átlagolási, illetve összegzési sémával 3 összevont áram középértéket és 3 összevont áram csúcserőérték eltérést képeztünk:

$$i_a = i_{aa} + i_{cb} + i_{bc}, \quad \Delta i_{ca} = \Delta i_{aa} - \Delta i_{ba} - \Delta i_{ca}$$

$$i_b = i_{ca} + i_{bb} + i_{ac}, \quad \Delta i_{ca} = \Delta i_{bb} - \Delta i_{cb} - \Delta i_{ab}$$

$$i_c = i_{ba} + i_{ab} + i_{cc}, \quad \Delta i_{ca} = \Delta i_{cc} - \Delta i_{ac} - \Delta i_{bc}$$

Az összevont áram csúcserőérték jellemzők szögfüggését a 16. ábra ismerteti.



16. ábra. Az összevont áram csúcserőérték jellemzők szögfüggése

Az összevont áram középértékek szögfüggését az induktivitások határozzák meg, ezért ezeknél a második térbeli harmonikus a legjelentősebb. Az összevont áram csúcserőérték eltéréseknél

viszont a négyzetes tagok jelentette nemlinearitás és a Hesse-mátrix elemeire jellemző első térbeli harmonikus a meghatározó. Azt is megállapíthatjuk, hogy a középértékek kevésbé zajosak. Emiatt a kezdeti szöghelyzet meghatározásánál ezekből célszerű kiindulni, és az eltéréseket csak a polaritás meghatározására használni. A 8. ábra áramjeleinek csúcsértéke 10 A körül volt. Ebből 3 A amplitúdójú görbéket kapunk a középértékekre és 400 mA amplitúdójúakat az eltérésekre.

A szöghelyzet számítása

A középérték görbék és az eltérés görbék is 120°-kal eltolt szinuszos görbék. Belőlük a szöghelyzet trigonometrikus összefüggésekkel kiszámítható. A számítás két lépésből áll. Elsőkét a három fázisjellemzőt kétfázisra számítjuk át, majd ezekből a négynegyedes arkusz tangens függvényrel számíthatjuk a szöghelyzetet:

$$\alpha_E = i_a - \frac{1}{2}i_b - \frac{1}{2}i_c, \quad \beta_E = \frac{\sqrt{3}}{2}i_b - \frac{\sqrt{3}}{2}i_c$$

A kétfázisú mennyiségekből a szöghelyzet:

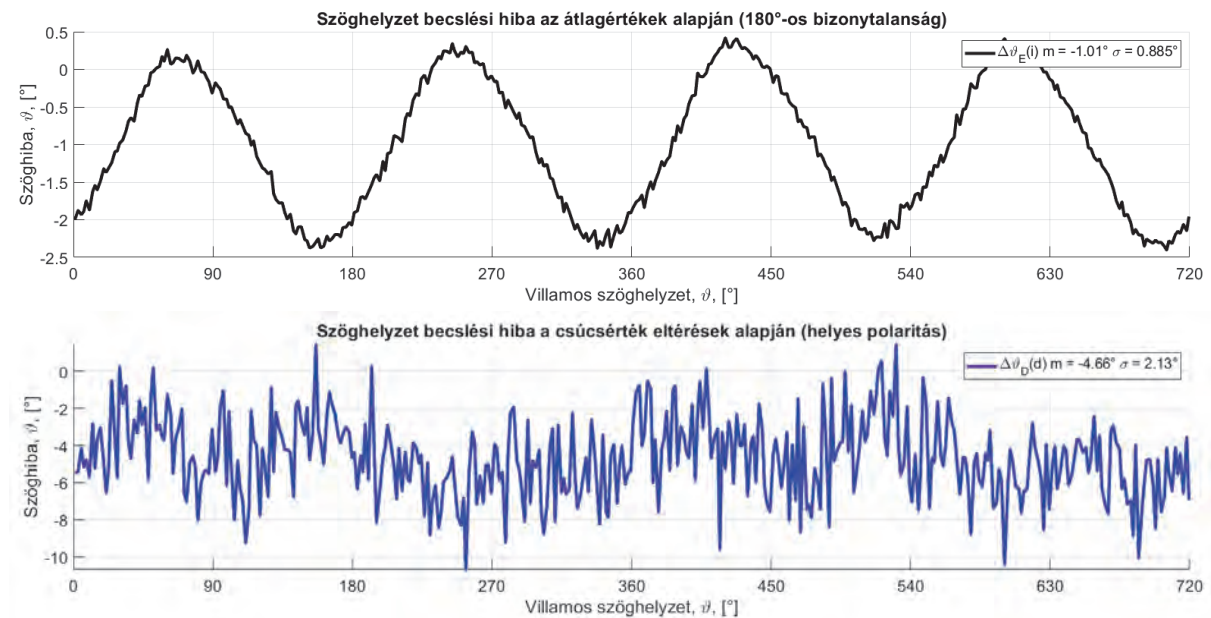
$$\vartheta_E = \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(-\beta_E, \alpha_E)$$

A számítás az áram csúcsérték eltérésekből:

$$\alpha_D = \Delta i_a - \frac{1}{2}\Delta i_b - \frac{1}{2}\Delta i_c, \quad \beta_D = \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta i_b - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta i_c$$

$$\vartheta_D = \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(\beta_D, \alpha_D)$$

A kétféle számítás szöghelyzet becslési hibáját a 17. ábra ismerteti. Fontos kiemelni, hogy a ϑ_E esetén a 180°-os bizonytalanságot adódó hibát eltávolítottuk ábrázolás előtt a ϑ_D felhasználásával.



17. ábra. A szöghelyzet becslés hibája a két kidolgozott eljárás alkalmazásával

Megállapíthatjuk, hogy az általunk kidolgozott algoritmus a kezdeti szöghelyzetet átlagosan 1° villamos szöghibával képes meghatározni, és a hiba ekörül mintegy 1,5°-kal ingadozik.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001 „Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén” pályázat keretében valósult meg a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében. A publikációban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal is támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] M. E. Haque, L. Zhong and M. F. Rahman, "Initial Rotor Position Estimation of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Without a Mechanical Sensor," *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 33-40, 2001.
- [2] J. Holtz, "Initial Rotor Polarity Detection and Sensorless Control of PM Synchronous Machines," in *Industry Applications Conference*, 41st IAS Annual Meeting, 2006.
- [3] M. Imecs, „Villamos Gépek Egységes Szabályozási Elve A Tértárazor Elmélet Alapján,” Balatonlelle, 2011.

Szoftver szenzoros gumibroncs-nyomás monitorozó rendszer (TPMS) kiterjesztése az útfelület érdességének becslésére

Extending Software Sensor Based TPMS Towards Road Surface Roughness Estimation

Márton Zoltán^a, Fodor Dénes^b

^aPannon Egyetem

marton.zoltan@mk.uni-pannon.hu

^bPannon Egyetem

fodor@almos.uni-pannon.hu

Absztrakt: Az autonóm járművek az úti cél, a pillanatnyi helyzet, az útviszonyok és a jármű műszaki állapotának ismeretében kell, hogy döntéseket hozzanak meg az emberi beavatkozás nélkül. Az útviszonyok jellemzői közé tartozik az útfelület minősége is. Ehhez az adatokat napjainkban egy számítógépes felhőben elhelyezett adatbázisból tudják a járművek lekérdezni. Ennek az adatbázisnak a kiépítéséhez és naprakészen tartásához speciális érzékelőkkel ellátott, módosított járművet alkalmaznak. Azonban az útfelület minősége folyamatosan változik és egyes útszakaszokhoz elévült adatokat tartalmazhat az adatbázis, vagy akár hiányozhatnak is az ilyen jellegű adatok, ezért a járműben található gyorsulás-szenzorok jeleire is hagyatkozhat a jármű. Ez pontos mérésekre nem alkalmas, mivel a lengéscsillapító rendszer az útfelület érdességének mértékének meghatározását az alul-áteresztő szűrő jellegű viselkedése miatt megnehezíti. Más szempontból viszont napjainkban a járművek rendelkeznek gumibroncs-nyomás monitorozó rendszerekkel (TPMS), melyek által szolgáltatott adatok a jármű műszaki állapotának fontos részét képezik. Két TPMS típust különböztetünk meg a közvetlent (DTPMS) és az indirektet (ITPMS). Az indirekt rendszerek a keréksebesség-szenzorok jelei alapján becslik a gumibroncs nyomását. Ezek a rendszerek nagyon érzékenyek viszont az útfelület érdességére. Ezt a jelenséget felhasználva viszont lehetőség nyílik a keréksebesség szenzorok jeleiből következtetni az útfelület érdességére. Ebben a cikkben egy olyan eljárást mutatunk be, amely csak a keréksebesség szenzorok jeleit felhasználva képes osztályozni az útfelület érdességét.

Kulcsszavak: Útfelület-érdesség, ITPMS, Keréksebesség-szenzor, FFT

Abstract: Since the autonomous vehicles must make decisions based on destination, current position, road and vehicle conditions without human interventions it is important to provide the driving logic these data. The road conditions include the road surface quality and roughness. These data are accessed from a database located in a computation cloud and acquired via special sensors using modified vehicles. The problem is that those data can be easily outdated or missing. In this case the vehicle itself must measure and estimate them. The road surface quality and roughness can be estimated from the accelerometers applied in the vehicle, but the suspension has a low-pass filter behavior making the road surface roughness estimation inaccurate. Up to date vehicles have Tire Pressure Monitoring Systems (TPMS) which also provides vital information from the condition of the vehicle for the driving logic. Two major TPM Systems exist: direct (DTPMS) and indirect (ITPMS). In the case of ITPMS the Wheel Speed Sensor (WSS) signals are used to estimate the tire pressure. These systems are very susceptible to the road surface roughness. In this paper we present a new method to estimate the road surface roughness using only WSS signals.

Keywords: Road Surface Roughness, ITPMS, WSS, FFT

1. Bevezetés

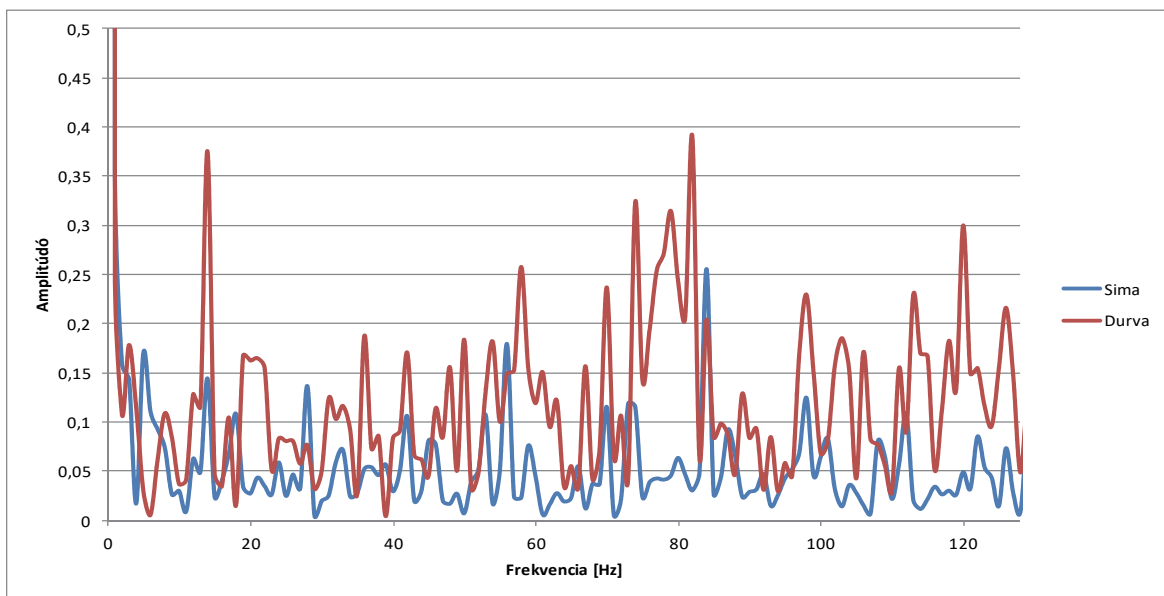
Az útfelület minőségét több tényező is befolyásolja, ezek közül a legfontosabb az úton haladó forgalom mértéke, illetve annak utolsó karbantartási időpontja valamint a javítások minősége [1]. Az útfelület-minőség jelentősen befolyásolja a vezetési biztonságot. A járművezetők az útfelület minőségét képesek maguk is felmérni illetve ahhoz alkalmazkodni, azonban autonóm járművek esetén ehhez külön szenzorokra van szükség: gyorsulásmérőkre és giroszkópokra [2]. Ezek a rendszerek módosítás nélkül azonban csak a nagyobb mértékű egyenetlenségek kimutatására alkalmasak, mivel a lengéscsillapító rendszer alul-áteresztő szűrőként viselkedik. Ennek következtében az útfelület mikro-textúrája rejtve maradhat a jármű vezetését ellátó logikától. Ezek pótlására adatbázisból lekérdezik a jármű a pillanatnyi pozícióját felhasználva az út állapotát [2, 3]. Az adatok gyűjtéséhez egy speciális járművet használnak, mely a jármű kerekeire szerelt speciális gyorsulásmérővel van ellátva [2]. Az adatgyűjtéshez és a lekérdezéshez a modernebb eljárásoknál alkalmaznak keréksebesség szenzorok jeleket, ám ezeket a GPS pozíció pontosításához használják fel [3]. Az útfelület mikro-textúrájának fontosságát már 1986-ban felismerték, mely meghatározására szabványt fogadtak el, ez az úgynevezett Nemzetközi Érdesség Index (International Roughness Index, IRI). A szabvány szerint a mérés során a járműnek 80 km/h-ás sebességgel kell haladnia és a mérés egy külső, lengéscsillapítás nélküli kerékre szerelt gyorsulásmérők segítségével történik [4]. Mivel ez költséges és nem feltétlenül kivitelezhető minden útszakaszon, ezért különböző alternatív eljárásokat is kifejlesztettek [5 – 7]. Napjainkban az újabb csúcs járműveket az útfelület-minőségét figyelő rendszerekkel is ellátják, melyek nem csak az adatbázist használják fel, hanem valós időben figyelik az útfelület-minőségét [8]. Az útfelület minősége és főleg az érdessége a frekvencia analízis és modell alapú indirekt gumiabroncs-nyomás monitorozó rendszerek (iTPMS) számára igen komoly zavarásként jelentkezik, ennek oka, hogy a keréksebesség ingadozásához az útfelület textúrája jelentős mértékben hozzájárul. Ezt a jelenséget felhasználva viszont lehetséges az útfelület érdességére következtetni a keréksebesség adatok frekvencia analízisével. A bemutatni kívánt eljárás az útfelület érdességének monitorozását képes ellátni a keréksebesség szenzorok jeleinek feldolgozásával.

2. Indirekt TPMS és az Útfelület Minősége

A gumiabroncs-nyomás monitorozó rendszerek (TPMS) alapvetően két nagyobb csoportba sorolhatóak. Az első csoport a közvetlen vagy direkt TPMS (dTPMS), melyeknél nyomást mérő szenzorokat helyeznek el a gumiabroncsba illetve a gumiabroncs szelepébe, a második csoportba tartozó eljárások a már meglévő keréksebesség szenzorokat használja fel, melyek által szolgáltatott jelek feldolgozásával becslést adnak a gumiabroncs nyomásának állapotáról. Ez utóbbi további három csoportra osztható, melyek közül az első a legegyszerűbb összehasonlításon alapuló módszer, a második és jelenleg legelterjedtebbek a transzformáción alapuló módszerek, a harmadik pedig inkább kutatások részét képező modell alapú módszerek. A transzformáción alapuló módszerek, jelenleg Gyors Fourier-transzformációt (FFT) alkalmaznak. Ez a módszer érzékeny a nagyobb sebesség ingadozásokra, valamint a környezetből származó zajokra és zavarásokra. A zavarások főleg az erőátviteli rendszerből érkeznek a meghajtott kerék esetén, illetve a keréksebesség mérésnél alkalmazott tárcsa túrései, gyártási hibái szisztematikus zajként jelentkeznek. Ugyanakkor az útfelület érdessége, hibái is megjelennek a spektrumban (1. ábra). Az 1. ábra két frekvencia spektrumot

tartalmaz, a kék a sima, a piros a durva útfelülethez tartozik. A fent felsorolt jelenségek mind sebesség függően jelentkeznek a frekvencia-spektrumban, ami azt jelenti, hogy a feldolgozásuk során az adott minta mindenkorai átlagsebességét figyelembe kellene venni. Azonban erre nincs szükség, mivel a keréksebesség szenzor működése valójában feldolgozás nélkül az ehhez szükséges adatokat szolgáltatja. Ennek megértése érdekében egy rövid összefoglaló következik a keréksebesség szenzor működésével kapcsolatban.

Bár az eltérések igen csak láthatóak az 1. ábrán, azonban a legtöbb frekvencia-komponens sebességfüggő, ezért más sebesség esetén eltérő spektrumot kapunk. Jobb megoldást jelentene, ha a keréksebesség adatokat nem időbeli mintavétel alapján dolgoznánk fel, hanem közvetlenül a keréksebesség szenzor által szolgáltatott osztáshoz, azaz lényegében szöghelyzethez kötött formában. Ebben az esetben a Fourier-transzformáció alkalmazása után úgynevezett rend-spektrumhoz jutunk. A rend azt adja meg, hogy egy körbe fordulás alatt hányszor történt harmonikus rezgés vagy sebességingadozás. A rend-spektrumnak az előnye a hagyományos frekvencia-spektrummal szemben egy jármű esetében, hogy a sebességétől függő rezgések, mint amilyeneket az erőátvitel, a motor, vagy az útfelület-érdesség, az útfelület egyéb egyenetlenségei okoznak állandó helyen jelentkeznek eltérő sebességek esetén is. A 2. ábrán megtekinthető a keréksebesség rend-spektruma. Ehhez ugyan azokat az adatsorokat használtuk fel, mint amelyből az 1. ábrán látható a frekvencia-spektrumokat



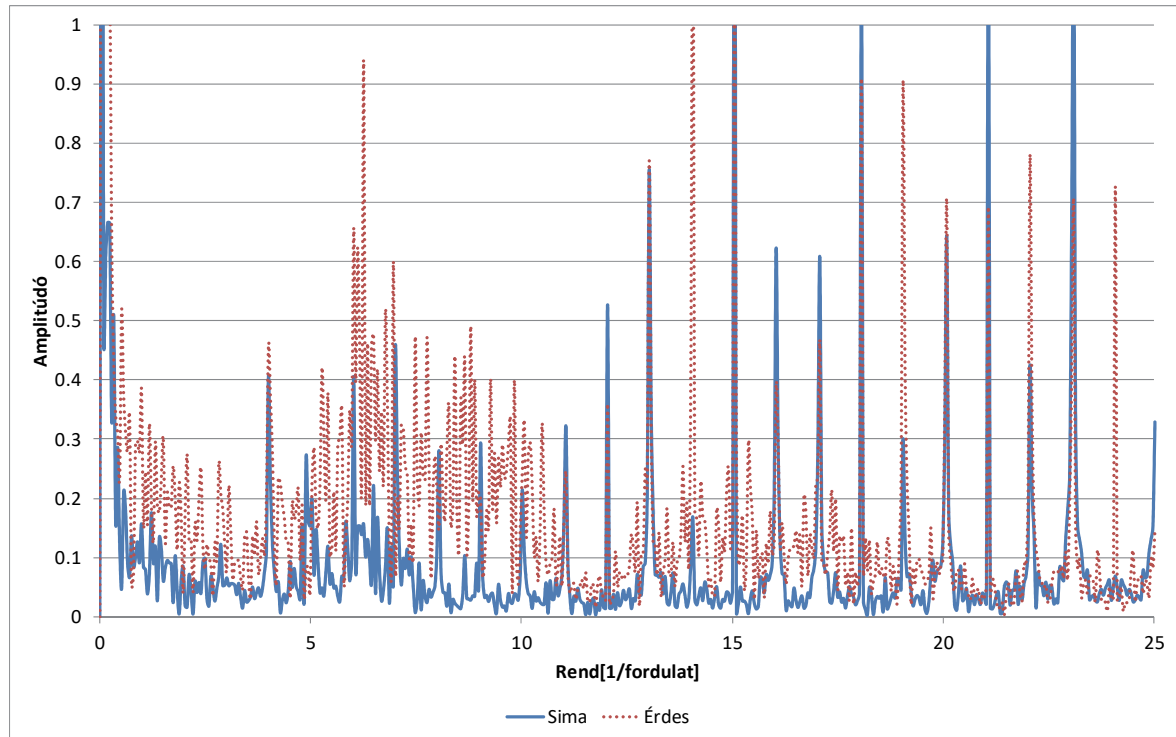
1. ábra: Egy bal első gumibroncs frekvencia-spektruma, sima és durva útfelületek esetén közelítőleg 60 km/h-ás átlagsebesség mellett

készítettek el. A 2. ábrán két rend-spektrumokon látható. Hasonlóan az előzőhöz a piros, szaggatott vonalú durva, míg a kék, folytonos vonalú pedig a sima útfelülethez tartozik. Ha a két rend-spektrumot összevetjük, akkor megfigyelhető, hogy az útfelület érdességével lényegében a 11 rend alatti tartományban található rend-komponensek mutatnak eltérést.

3. Útfelület-érdesség becslése

A kutatásainkhoz a Continental GmbH biztosított mérési adatsorokat. Ezeket iTPMS kutatáshoz használták fel. A mérés körülményeit egy külön meta-fájlban biztosították rendelkezésünkre. A mérés körülményei között szerepelt a gumibroncs típusa, a

csomagtartóban elhelyezett teher súlya, a jármű átlagsebessége, a gumiabroncs nyomásáról egy szűkebb leírás (normál vagy több mint 20%-kal csökkentett nyomás) és a teszt pálya útfelületéről egy egyszerűsített leírás. Ez a leírás sajnos nem pontos, mivel csak annyit adtak meg, hogy érdes (rough) vagy sima (smooth), azonban az iTPMS kutatás ez irányú kiterjesztését lehetővé tette.



2. ábra: Egy bal első gumiabroncs rend-spektruma, sima és durva útfelületek esetén közelítőleg 60 km/h-ás átlagsebesség mellett

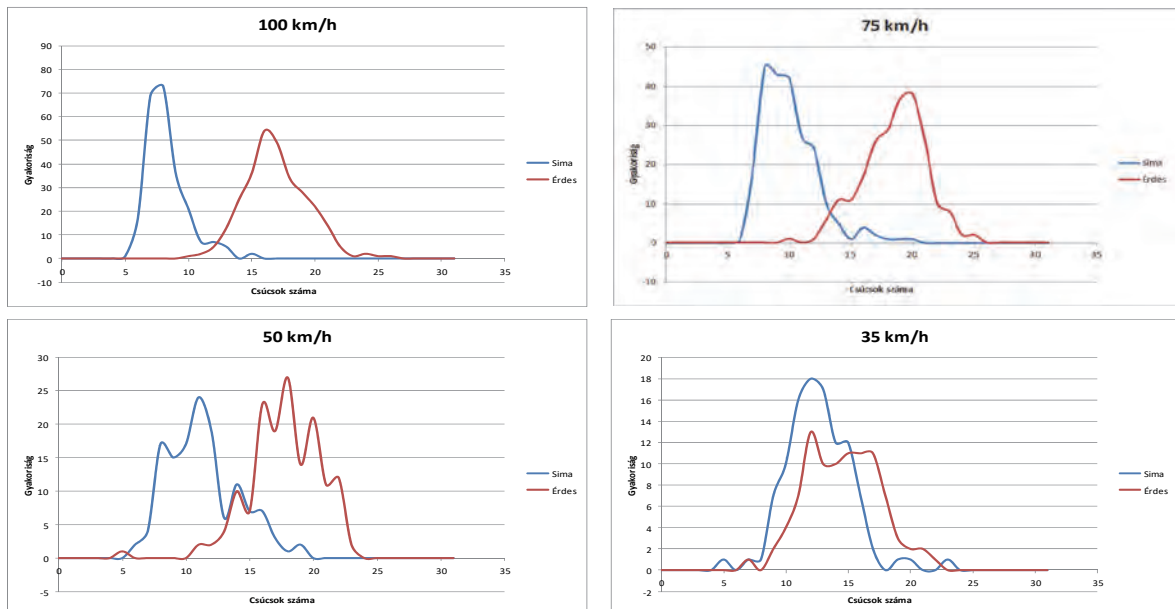
A kutatásaink során első sorban a $[0,5; 10]$ rend-tartományra összpontosítottunk. Ezen a tartományon különféle vizsgálatokat végeztünk el, hogy milyen paraméterek lehetnek alkalmasak az útfelület érdességének a kimutatásához. A megvizsgált paraméterek között szerepelt a rend-tartomány korrigált relatív átlaga, korrigált relatív szórása (relatív energiája), csúcsok átlagos szélessége valamint a csúcsok száma. Ezeknek a paramétereknek a meghatározásához első sorban a rend-tartomány lokális minimumok szerinti felosztását végeztük el. A lokális minimumok mellett csak azokat a rész-tartományokat vettük figyelembe, melyek tartalmaznak az átlagot a standard normál szóráson túl meghaladó amplitúdókat. Az általunk átlagos szélességnek nevezett paraméterhez a megmaradt rész-tartományok hosszait átlagoltuk. A csúcsok számát pedig a megmaradt résztartományokon végzett numerikus lokális minimumkereséssel határoztuk meg. Ezen paraméterek közül végül csak a csúcsok száma mutatott korrelációt az útfelület érdességével (1. táblázat).

A csúcsok száma azonban nem csak az útfelület érdességével mutatott korrelációt, hanem a jármű sebességével is, így erre a jellemzőre összpontosítva feldolgoztuk és kielemeztük az összes számunkra rendelkezésre bocsájtott összes mérési adatsort (64 adatsor állt rendelkezésünkre, melyekben mind a 4 kerék adatsorát is magukba foglalták, azaz összesen 256 adatsort dolgoztunk fel. Minden adatsor a tesztpályákon több perces vezetés során gyűjtött keréksebesség szenzor adatokat tartalmaztak). A csúcsok száma, a jármű sebessége és az útfelület érdessége közötti összefüggés feltárásához a mérési adatokból különböző statisztikákat készítettünk, mint a leggyakoribb csúcyszám, átlagos csúcyszám, legkevesebb csúcyszám, legtöbb csúcyszám. Ezen statisztikák mellett a csúcsok számából hisztogramokat

| | | | | | | | | |
|--------------------------|---|-----------|-----------|------------|---------------------|-----------|-----------|------------|
| Mérési sor | h16050029_0030_0031_0032_0033_0034_0035.mat | | | | | | | |
| Sebesség [km/h] | 67 | | | | | | | |
| Kerék | Bal első | Jobb első | Bal hátsó | Jobb hátsó | Bal első | Jobb első | Bal hátsó | Jobb hátsó |
| Útfelület | Sima 1 | | | | Durva 1 | | | |
| Csúcsok száma | 11 | 12 | 5 | 6 | 19 | 24 | 13 | 11 |
| Korrigált Átlag | 0,242 | 0,168 | 0,076 | 0,062 | 0,282 | 0,302 | 0,151 | 0,163 |
| Korrigált Szórás | 0,1833 | 0,138 | 0,1047 | 0,09858 | 0,1883 | 0,1876 | 0,1603 | 0,1538 |
| Átlagos szélesség [rend] | 4 | 3,9 | 4,6 | 5,2 | 5,7 | 5,4 | 2,6 | 3,3 |
| Mérési sor | honda_tgla_0129.mat | | | | honda_tgla_0134.mat | | | |
| Sebesség [km/h] | 56 | | | | 58 | | | |
| Kerék | | | | | | | | |
| Útfelület | Sima 2 | | | | Durva 2 | | | |
| Csúcsok száma | 11 | 16 | 8 | 10 | 20 | 19 | 22 | 18 |
| Korrigált Átlag | 0,144 | 0,254 | 0,155 | 0,102 | 0,289 | 0,272 | 0,252 | 0,278 |
| Korrigált Szórás | 0,1523 | 0,1645 | 0,1407 | 0,1607 | 0,2047 | 0,1739 | 0,1682 | 0,1845 |
| Átlagos szélesség [rend] | 5,2 | 4,4 | 3,9 | 3,2 | 6,2 | 5,5 | 4,8 | 5,3 |
| Mérési sor | honda_tgla_0140.mat | | | | honda_tgla_0135.mat | | | |
| Sebesség [km/h] | 72 | | | | 67 | | | |
| Kerék | Bal első | Jobb első | Bal hátsó | Jobb hátsó | Bal első | Jobb első | Bal hátsó | Jobb hátsó |
| Útfelület | Sima 3 | | | | Durva 2 | | | |
| Csúcsok száma | 10 | 11 | 6 | 6 | 25 | 22 | 15 | 16 |
| Korrigált Átlag | 0,126 | 0,154 | 0,108 | 0,15 | 0,218 | 0,267 | 0,209 | 0,253 |
| Korrigált Szórás | 0,1449 | 0,1378 | 0,1174 | 0,1451 | 0,1555 | 0,1906 | 0,1647 | 0,1909 |
| Átlagos szélesség [rend] | 5,2 | 5,8 | 4,1 | 5,7 | 5,4 | 5,1 | 4,5 | 3,6 |

1. táblázat: Különböző mérési sorokon elvégzett feldolgozás eredményei

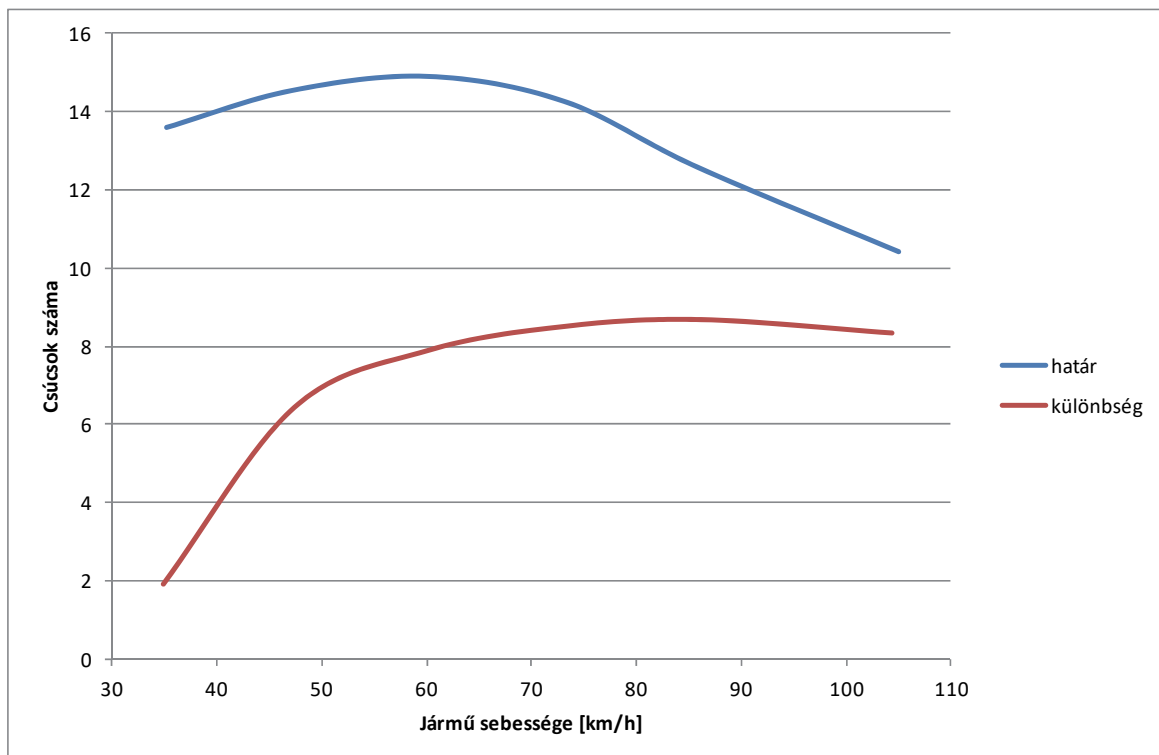
is elkészítettünk, melyekkel nyomon tudtuk követni, hogy egy adott érdességgel felcímkézett útszakaszon milyen gyakorisággal találhatunk különböző csúcs számokat, és azok milyen átlagsebesség esetén hogyan változnak (3. ábra).



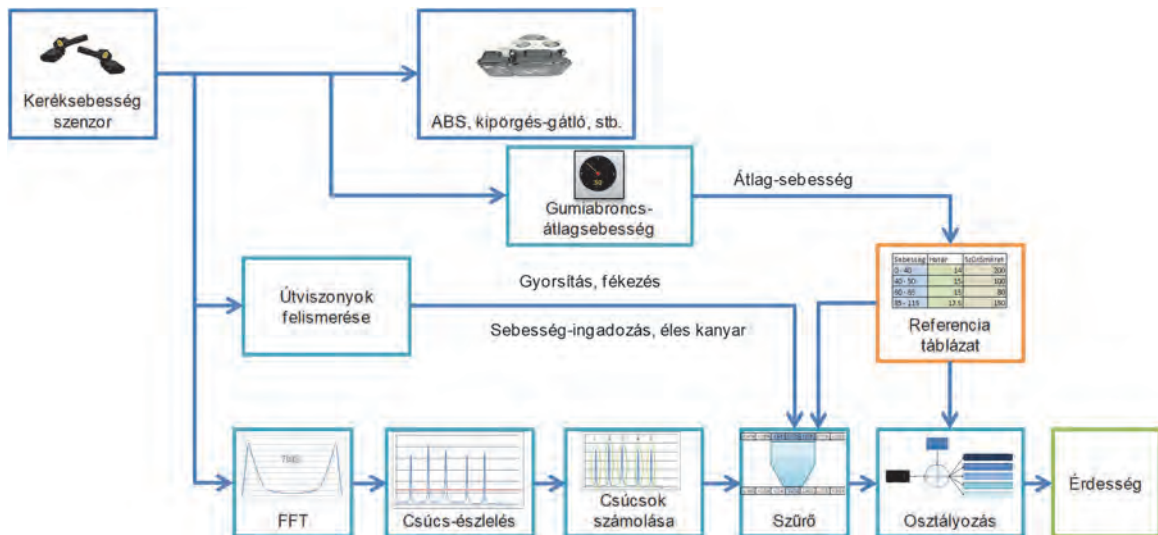
3. ábra: Csúcsok számának alakulása eltérő útfelület-érdességek esetén más-más átlagsebességgel haladó tesztjárműnél

4. Konklúzió

Az adatsorok feldolgozásával és kiértékelésével a következő eredményekre jutottunk. A keréksebesség szenzor által szolgáltatott jelekből lehet következtetni az útfelület érdességére. Az útfelület érdessége elsősorban a keréksebesség rend-spektrumában jelentkezik a 10 rend alatti tartományban, bár a csúcsok rend-spektruma lényegesen kevésbé függ a jármű sebességétől, de a rend-spektrumban jelentkező csúcsok amplitúdója és száma viszont sebesség-függő. A hisztogramokból és az egyéb statisztikai adatokból sikeresen meghatároztunk egy sebesség függő küszöb értéket (4. ábra), mellyel a rendelkezésünkre bocsájtott mérési adatsorokat tudtuk megbízhatóan osztályozni. Ezzel egy időben kidolgoztunk egy eljárást, mely képes az útfelület-érdességét osztályozni a keréksebesség szenzorok jeleinek feldolgozásával (5. ábra). A jövőben a jelenleg erre a célra használt gyorsulás-szenzorok jeleit is felhasználva egy szenzorfüzió alapuló eljárás kifejlesztésén fogunk dolgozni, illetve célunk, hogy az eljárást úgy javítsuk, hogy végül az útfelület IRI értékét képesek legyünk meghatározni.



4. ábra: A sima és az érdes útfelületek közötti határ sebességfüggése



5. ábra: Az útfelület-érdesség becslésére kidolgozott eljárás folyamatábrája

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001 „Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén” pályázat keretében valósult meg a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében. A publikációban szereplő kutatást, amelyet a Széchenyi István Egyetem valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal is támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. Külön köszönettel tartozunk a Continental GmbH.-nak a mérési adatsorok rendelkezésünkre bocsájtásáért.

Irodalomjegyzék

- [1] Highways England, Road Surface Quality: What Road Users Want From Highways England, 2017 november, <https://d3cez36w5wymxj.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/11/06161438/Road-surface-quality-what-road-users-want-from-Highways-England-FINAL.pdf>
- [2] K. Zang, J. Shen, Assessing and Mapping of Road Surface Roughness based on GPS and Accelerometer Sensors on Bicycle-Mounted Smartphones, MDPI, Sensors 2018, v18, p914, 2018 március
- [3] G. Alessandroni, A. Carini, A Study on the Influence of Speed on Road Roughness Sensing: The SmartRoadSense Case, Sensors 2017, 17, 305; doi:10.3390/s17020305, 2017 február

- [4] M. W. Sayers, T. D. Gillespie, and W. D. Paterson, “Guidelines for the conduct and calibration of road roughness measurements,” World Bank Technical Paper 46, The World Bank, Washington, DC, USA, 1986.
- [5] D. Yuchuan, L. Chenglong, Measurement of International Roughness Index by Using z Axis Accelerometers and GPS, *Mathematical Problems in Engineering* , 2014, doi:10.1155/2014/928980
- [6] I. Kertész, I. T. Lovas, Á. Barsi, Measurement of road roughness by low-cost photogrammetric system, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36, 2007
- [7] G. Alessandroni, A. Carini, A Study on the Influence of Speed on Road Roughness Sensing: The Smart Road Sense Case, *Sensors* 2017, 17, 305; doi:10.3390/s17020305, 2017 February
- [8] Road Surface Condition Monitoring System, Honda, https://www.honda.co.jp/tech/ITS/pdf/en/07_Road_Condition_monitaring_system_US.pdf

Enkóder jelének feldolgozására alkalmas, CAN kommunikációt megvalósító nyomtatott áramkör tervezése és programozása

Design and programming of a printed circuit board for processing an encoder signal with implementing CAN communication

Gyórfy Richárd

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont
9026 Győr, Egyetem tér 1.
gyorfy.richard@ga.sze.com

Absztrakt: Ebben a cikkben egy enkóder jelfeldolgozásához készített nyomtatott áramkör tervezése és programozása kerül bemutatásra. A közlekedés során az irányított jármű sebességének ismerete számos ok miatt szükséges. A SZEnergy Team-nek a versenyjárművének sebességi adatát az alkalmazott menetciklus optimalizáció miatt kell ismernie. Az alkalmazásban kritérium a pontos mérési módszer és az eszköz energiahatékony működése, így a felépítés és a működés ismertetése ezekre fókuszál. A mérési módszereknél a frekvencia- és periódusidő mérésén alapuló megoldás hibája kerül vizsgálatra. Ennek eredménye alapján került sor a programozásra. Az energiahatékony működés miatt olyan funkciók kerültek kialakításra, melyekkel a fogyasztást az üzemállapotokhoz mérten lehet minimalizálni.

Kulcsszavak: enkóder, frekvenciamérés, periódusidő mérés, mikrovezérlő, energiahatékony

Abstract: In this article, the design and programming of a printed circuit board for signal processing of an encoder is presented. In traffic, knowledge of the speed of a controlled vehicle is necessary for a number of reasons. The SZEnergy Team needs to know the speed data of its race vehicle because of the driving cycle optimization applied. Criteria in the application are the accurate measurement method and the energy efficient operation of the device, so the description of the design and operation focuses on these. For the measurement methods, the error of the solution based on the measurement of the frequency and period time is investigated. The results are used as a basis for the programming. For energy-efficient operation, functions are designed to minimize the consumption in relation to the operating conditions.

Keywords: encoder, frequency measurement, period time measurement, microcontroller, energy efficient

1. Bevezetés

A SZEnergy Team a győri Széchenyi István Egyetemen működő hallgatói versenycsapat, akik évről-évre részt vesznek a Shell Eco-marathon energiatakarékosági versenyen. A verseny célja, hogy a csapatok a versenytávot a legkevesebb üzemanyag vagy elektromos energia felhasználásával tegyék meg. A jármű elektronikai és gépészeti rendszerének fejlesztése mellett, a jármű irányításának optimalizációjával érhető el jobb energiamérleg. A csapat egy menetciklus optimalizáció segítségével határozza meg azt, hogy a jármű irányítása során a pálya adott szakaszán gyorsításra, lassításra vagy sebesség tartásra van szükség. Az

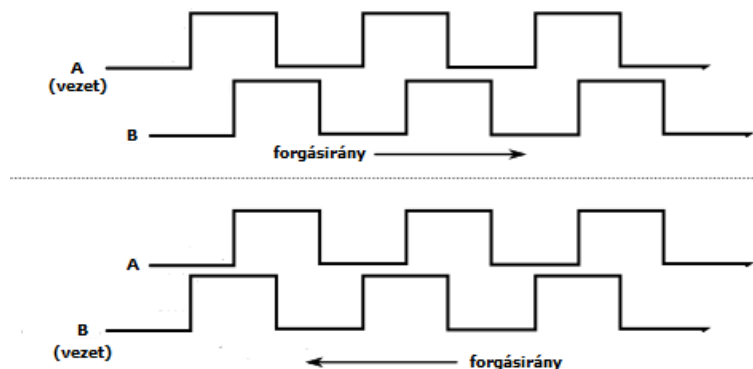
optimalizáció a jármű sebességét is felhasználja, így ennek folyamatos ismerete szükséges. A rendszer a sebességet alapesetben az motorvezérlő felől kapja, viszont energiahatékonysági okokból ez az eszköz a hajtás igényének megszűnésének pillanatában alvó módba kapcsol. Ez azt jelenti, hogy az optimalizáció nem jut sebességi adatokhoz, így ezeket egy a motorvezérlőnél számottevően kisebb fogyasztású eszköz pótolja. A megoldás egy kvadratikus enkóder elhelyezése a járműben, aminek jelét egy nyomtatott áramkör dekódol és a jármű kommunikációs hálózatára küld, így biztosítva a sebességi adatokat az optimalizáció számára.

2. Enkóderek működése

Az enkóder egy alapesetben pozíciót elektromos jellé átalakító szenzor, azonban használható szögelfordulás és fordulatszám mérésére vagy forgásirány meghatározás. Típusait tekintve megkülönböztethető abszolút/inkrementális és lineáris/rotációs szenzor. Az abszolút enkódereknél a kimeneti jelüket vizsgálva minden pillanatban egy konkrét pozícióra következtethetünk, míg az inkrementális típusúaknál a jel múltbeli értékét is ismerni kell, valamint ki kell jelölni egy referencia pozíciót a pillanatnyi pozíció meghatározásához. A lineáris vagy rotációs jellemző a mozgás típusára utal, megkülönböztetve a vonal menti és a forgó mozgást. Technológiai szempontokat tekintve számos működési elven alapuló szenzor létezik, mint például a mágneses, optikai, induktív vagy a kapacitív. Az általam használt és későbbiekben említett szenzor egy mágneses működési elven üzemelő inkrementális és forgó típusba tartozó elem, amit egy gyűjtőnév alatt említve kvadratikusként neveznek.

Az eszköz kimeneti jeleit tekintve A, B és INDEX jelek között teszünk különbséget. A és B jelek negyed periódussal vannak fázisban eltolva egymáshoz képest. Ezek a jelek négyzetimpulzusok, melyek vizsgálatával számos információt vagyunk képesek meghatározni. E három jelen kívül \bar{A} és \bar{B} jeleket is szolgáltatnak egyes szenzorok, melyek zavarvédelmi szempontból hasznosak az alkalmazásokban. Bizonyos információk meghatározásához, a szenzort jellemző felbontás ismerete szükséges. A felbontás az egy körbefordulás alatt érkező impulzusok száma A és B jelvezetéken egyaránt, ez idő alatt az INDEX jelvezetéken csak egyszer jelenik meg impulzus.[1][4]

A pozíció meghatározásához egy referencia pozíciót kell kijelölni. A felbontás ismerete mellett a négyzetimpulzusok számlálásával képesek leszünk az aktuális pozíciót meghatározni. Az adott impulzusidő mérésével fordulatszám számítható illetve a forgásirány meghatározáshoz az A és B jel egymáshoz képesti viszonyát kell figyelni. Ellentétes irányú forgások esetén egyik esetben az A jelvezeték impulzusai megelőzik B jelvezeték impulzusait egy negyed periódussal, ellenkező esetben fordítva történik ugyanez (lásd 1.ábra).[1][4]

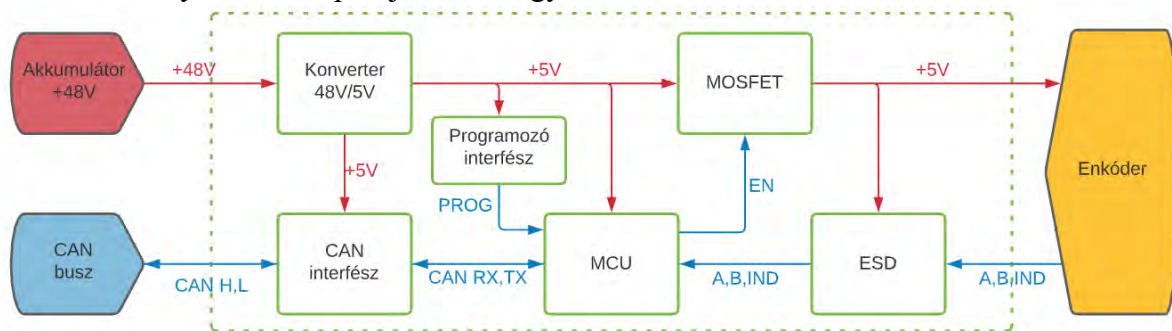


1. ábra. Az A és B jel alakulása ellentétes irányú forgások esetén.

A szenzort jellemző felbontás hatással van a fordulatszám mérés pontosságára, de a termék piaci árára is. A mérési hiba a mérési megoldás típusától is függ, valamint azoknak a paramétereitől. Fordulatszám mérés történhet frekvencia vagy periódusidő mérésével. Frekvencia mérés estén az impulzusok frekvenciáját mérjük. Kijelölünk egy idősávot és a köztük lévő impulzusok számát számoljuk meg. Periódusidő mérésénél egy magas frekvenciás referencia jelet biztosítunk és periódusainak számát számoljuk meg egy enkóder impulzus fel- és lefutó élei között. A frekvenciamérés magas sebességeken, a periódusidő mérés alacsony sebességeken pontosabb.[5]

3. Eszköz tervezése

A megvalósításhoz egy olyan nyomtatott áramkört terveztem, ami a lehető legkisebb fogyasztás mellett képes az enkóder jeleinek feldolgozására és a számított adatok CAN hálózaton történő elküldésére. Az eszköz központi egysége egy a Microchip által gyártott PIC18F25K83 típusú 8 bites mikrovezérlő[3], mely az autóiparban is elterjedt CAN kommunikáció[2] megvalósítására alkalmas. A járműben 48V-os tápfeszültség áll rendelkezésre a használat során, így a szükséges 5V feszültség előállításához egy feszültség csökkentő DC/DC konverterre van szükség. A nyomtatott áramkör működéséhez szükséges teljesítmény szolgáltatása mellett másodlagos követelmény a lehető legkisebb kimeneti feszültség hullámosság volt. A zavarvédelem számára egy ESD védelmi IC is elhelyezésre került a szenzor bemeneti csatlakozójánál. Az enkóder szenzor tápellátása úgy lett kialakítva, hogy a mikrovezérlő által kapcsolható legyen egy MOSFET-es kapcsolás segítségével. Ennek célja, hogy elkerüljük a redundáns információ szolgáltatást, mert ha a jármű motorvezérlője üzemel, akkor biztosítja az optimalizáció számára a szükséges információkat. A funkció használatához a mikrovezérlőnek szükséges egy utasítást küldeni a kommunikációs buszon, mely ennek hatására megszakítja a szenzornak szolgáltatott tápellátást. A fizikai kialakítás szempontjából az eszköz elhelyezési szempontjai lettek figyelembe véve.



2. ábra. Az eszköz blokkvázlata

4. Tervezett eszköz működése

Az eszköz frekvencia mérésen alapuló fordulatszám meghatározást alkalmaz. Az enkóder szenzort jellemző felbontás 4096 impulzus/fordulat és 50 ms idősávban történik az impulzusok számlálása. Az 50 ms időintervallum a CAN kommunikáció frekvenciájából adódik, ugyanis 20 Hz frekvenciával üzemel a kommunikáció a járműben, így elegendő ilyen időközönként kiszámolnunk a fordulatszámot.

Ezekből az adatokból számítható ki a fordulatszám a következő képlet segítségével:

$$\omega = \frac{60 \cdot \Delta N}{N_p \cdot T_{Sc}} = \frac{60 \cdot \Delta N}{4096 \cdot 0,05} = 0,293 \cdot \Delta N [RPM] \quad (1)$$

ahol ΔN az 50ms alatt detektálható impulzusok száma. A megoldás pontossága csak az enkóder felbontásától és az idősáv szélességétől függ.[5]

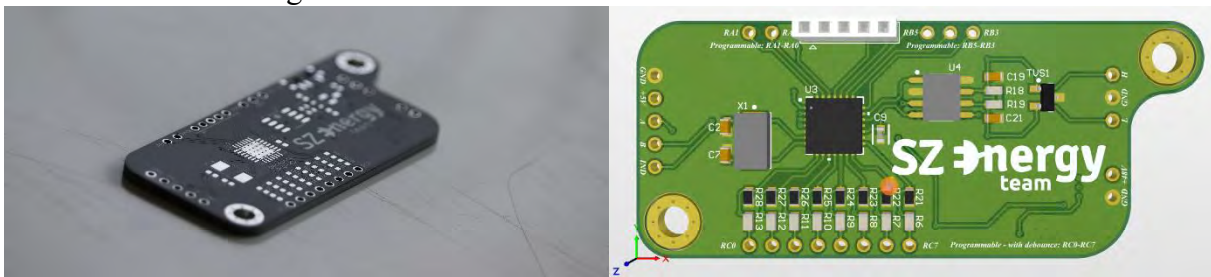
Az alkalmazott esetet vizsgálva az enkóder nagy felbontása és a nagy idősáv vizsgálata miatt a periódusidő mérésén alapuló megoldásnál a frekvenciamérésen alapuló megoldás már nagyon alacsony sebességnél is pontosabbnak mondható és pontossága a sebesség növekedésével tovább nő. A fordulatszám várható érték működés közben 0-500 RPM. A hiba kiszámításának módját a következő képlet mutatja:

$$e_{\omega} = \frac{2\pi}{\omega \cdot N_p \cdot T_{Sc}} * 100 = \frac{3,068}{\omega} [\%] \quad (2)$$

A forgásirány meghatározás elve, hogy A vagy B jelvezeték fel- vagy lefutó élénél a másik jelvezeték értéke megadja a forgásirányt. A forgásirányt az eszköz egy változóban tárolja és az 50 ms időintervallumok eltelte után a változó értéke elküldésre kerül a kommunikációs hálózaton.

5. Eredmények

Elkészült egy fizikai eszköz, mely a tervezett módon működik az alkalmazásban. Az eszköz segítségével képesek vagyunk a sebesség adatokat biztosítani a menetciklus optimalizáció számára a motorvezérlő üzemelési idején kívül, mindezt alacsony fogyasztási érték mellett. Alap üzemállapotban 706 mW elektromos teljesítményt igényel az eszköz a szenzor tápellátásával együtt, alvó állapotban fogyasztása ennek töredéke. Ez nagyban hozzásegíti a csapatot a versenyjármű energiahatékonyabb irányításában. Mindemellett alacsony hibát tartalmaz a mérési megoldás.



3. ábra. A kész nyomtatott áramkörtérkép és 3D-s terve.

6. Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] K. Lamár, A.G. Kocsis: Implementation of speed measurement for electrical drives equipped with quadrature encoder in LabVIEW FPGA, Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering Vol. 6, Issue 4 (2013), 123-126.

- [2] K.M. Lynch, N. Marchuk, M.L. Elwin: Controller Area Network (CAN), Embedded Computing and Mechatronics with the PIC32 (2016), 249-265.

- [3] Microchip Technology Inc.: PIC18(L)F25/26K83 Datasheet, DS40001943C (2020), 1-844.

- [4] Microchip Technology Inc.: Quadrature Encoder Interface (QEI), DS70208A Section 15 (2007), 1-22.

- [5] R. Petrella, M. Tursini, L. Peretti, M. Zigliotto: Speed measurement algorithms for low-resolution incremental encoder equipped drives: a comparative analysis, 2007 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (2007), 1-8.

Karosszéria és futóműelemek koordináta mérése és kiértékelése szimulációs környezetben

Chassis and suspension components coordinate measurement and evaluation in suspension simulation software

Bieder Balázs

Járműipari Kutató Központ
bieder.balazs@ga.sze.hu

Absztrakt: Ide kerül a cikk minimum fél, maximum egy oldalas, magyar nyelven írt kivonata. Ezen cikkben bemutatom az elektromos energiahatékony járművünk futómű- és karosszéria-elemein végrehajtott 3D koordináta mérés folyamatát és jelentőségét. A jármű karbon kompozit szendvics-szerkezetű monokokk karosszériával rendelkezik. A rendkívül összetett, áramvonalas karosszériának köszönhetően, nagyon nehéz a jármű egyes elemeinek mérése vagy pozicionálása, kifejezetten analóg mérőeszközökkel. Tehát a jármű összeszerelését követően 3d koordinátamérés elvégzése mellett döntöttünk az előzetes tervek és a megvalósult jármű összehasonlítása érdekében, különös tekintettel a futóműelemekre. A méréshez Trimos A6+ hordozható karos koordináta mérőgépet alkalmaztunk. A méréseket követően a kapott 3d felületmodelleket a korábbi 3d járműmodellre illesztve hasonlítottam össze az eltéréseket. Majd a tervezett és a mérés eredményeként kapott futómű geometriát a Lotus Suspension Analysis futómű szimulációs szoftverben vizsgáltam. A mérés segítségével a jármű menetellenállását hátrányosan befolyásoló hibákat derítettünk fel, ezeket további fejlesztésekkel javítottuk.

Kulcsszavak: koordinátamérés, monokokk, futómű

Abstract: In this paper the process and importance of 3d coordinate measurement on chassis and suspension elements of our electric energy efficient vehicle is presented. This vehicle has monocoque chassis made of carbon fiber sandwich structure. According to its highly complicated streamlined design, it is very difficult to manually measure and position components on the vehicle body, especially with analog tools. So, after the vehicle's assembly we decided to do a 3d coordinate measurement to compare the vehicle's current assembly, especially the suspension-elements to the original 3d models. We used Trimos A6+ arm 3d coordinate measuring machine for this measurement. After the measurements I have merged the results – the 3d surface models – with the original 3d model of the vehicle, so we could compare the differences. After that I used the Lotus Suspension Analysis software to investigate the differences between the present and the originally designed suspension geometries. With this measurement we could locate some manufacturing and assembly errors that would highly affect our vehicle's rolling resistance.

Keywords: coordinate measurement, monocoque, suspension

1. Bevezetés

A Széchenyi István Egyetemen működő SZEenergy Team elektromos energiahatékony járműveket fejlesztő hallgatói versenycsapat tagjai a Járműipari Kutató Központ és a Közúti és Vasúti Járművek Tanszék mentorálásával már 2006. óta fejlesztenek energiahatékony elektromos meghajtású járműveket és versenyeztetik azokat elsősorban a legrangosabb Shell Eco-Marathon Europe üzemanyag-hatékonysági világversenyen. A fejlesztések alapja mindig a jármű tömegének és menetellenállásainak csökkentése volt a lehetőségekhez mérten. A csapat a 2018. évi Shell Eco-Marathon Europe versenyt követően, arra az elhatározásra jutott, hogy a fejlődés érdekében egy teljesen új, karbon kompozit monokokk karosszériára épülő versenyjárművet kell tervezni a következő (2019.) évi versenyre. Ennek keretében született meg a csapat SZEmission elnevezésű járműve (lásd 1. ábra), amely monokokk karosszériája teljes mértékben karbon-kompozit méhsejt erősítésű anyagból készült. A jármű karosszériájának gyártása és a jármű összeszerelése során tapasztalt nehézségek tették szükségessé a továbbiakban taglalt mérések elvégzését.

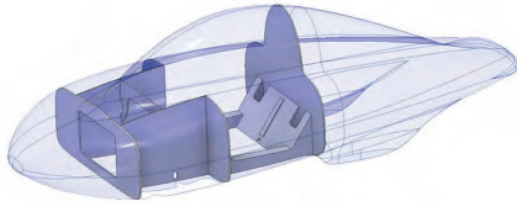


1. ábra SZEenergy csapat és a SZEmission elnevezésű jármű

2. Gyártástechnológia

A SZEmission csapatunk első karbon kompozit monokokk karosszériával rendelkező járműve. Fontosnak tartom nagy vonalakban összefoglalni a monokokk gyártástechnológiáját, hiszen egy rendkívül összetett folyamat, amelyből kifolyólag bármelyik gyártási lépésnél elkövetett pontatlanság is nagy valószínűséggel kimutatható az elkészült járművön. Ezáltal szükségessé teheti az összeszerelést követő méréseket.

Először szükségünk van a járművünk végleges 3d virtuális modelljére. Csapatunk megközelítőleg 2 éven át foglalkozott a formaterv optimalizálásával, valamint a szabályzatban előírt méretek és egyéb korlátozások alkalmazásával. Az elkészült virtuális modellek alapján, egy annak teljes mértékben megfelelő pozitív szerszámot kellett készítettünk, amely gyakorlatilag a járműmodell pontos mása, tömör hab anyagból forgácsolva, majd a további folyamatokat előkészítve, egy homogén fényezett felületet alakítottunk ki rajta. (lásd 2. ábra)



2. ábra Virtuális 3d modell (balra) és elkészült pozitív szerszám (jobbra)

A pozitív szerszám elkészítését követően, arról egy negatív szerszámot kell készítenünk, ezt a pozitív szerszámra laminált üvegszálas kompozit anyagból készítettük el. A jármű összetett formája miatt a szerszámozást horizontálisan két részre kellett osztanunk, így összesen 2 darab negatív szerszámot készítettünk a karosszéria alsó és felső részéről. Ezt követően a negatív szerszámokban már elkészíthettük a valós karosszéria elemeket karbon kompozit prepreg alapanyagból. (lásd 3. ábra)



3. ábra Negatív alsó szerszám (balra) és karosszéria elem laminálása (jobbra)

A karosszériaelemek elkészítését követően, még az alsó és felső elem összeillesztését megelőzően, rögzítenünk kellett a jármű karosszéria héján belül található merevítő és burkoló elemeket. A szabályzat kimondja, hogy a járműnek a pilóta és a hajtáslánc, valamint a pilóta és a kerekek között szilárd burkolattal kell rendelkeznie. Így a pilóta háta mögött egy tűzfal, a pilóta előtt pedig kerékháti burkolatok kialakítása mellett döntöttünk. Később ezeken a burkolati elemeken kialakított fix rögzítési pontokra kerül bekötésre az első-, illetve hátsó-futómű egyaránt. Ezek úgyszintén a karosszériával megegyező karbon kompozit szendvics szerkezetű panelekből kerültek kialakításra, a futómű csatlakozási pontjainál textilbakelit betét erősítéssel. A belső falak pozicionálása a ragasztásukat megelőzően rendkívül nehéz feladatnak bizonyult, hiszen az elkészült, rendkívül összetett karosszéria elemeken, nehéz volt manuális méréseket végrehajtani, így a virtuális 3d modellek alapján pozicionáló és ragasztó szerszámot készítettünk. Ezen panelek a virtuális modell alapján, előre a kívánt formára és méretre forgácsoltan lettek a szerszámra rögzítve a ragasztásukat megelőzően. (lásd 4. ábra)



4. ábra Pozicionáló szerszám (balra) és belső falak ragasztva (jobbra)

Ezt követően az alsó és felső karosszéria elemek összeillesztése és ragasztása, valamint az egyes szerelvényilások, az ajtók, illetve a szélvédő és ablakok kivágása és kialakítása következett. Végül a jármű fényezésével, matricázásával elnyerte végső formáját. (lásd 5. ábra)



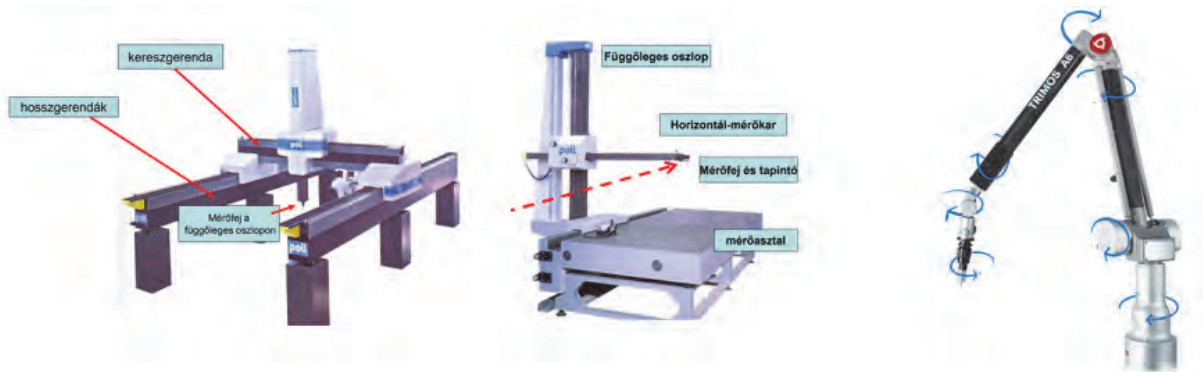
5. ábra Összeillesztett karosszéria elemek (balra) és fényezett, fóliázott jármű (jobbra)

Jól látható tehát a folyamat komplexitása. Amennyiben például pontatlanul készül a pozitív szerszám vagy a belső falak pozicionálásánál vétünk hibát, az nagy mértékben befolyásolhatja a jármű futóművének viselkedését és a jármű menetellenállását.

3. Mérés

Az előzőleg bemutatott gyártási folyamat lehetséges hibái és az összeszerelés során tapasztalt apróbb pontatlanságok miatt a koordinátamérés végrehajtása mellett döntöttünk. A mérést egy Trimos A6+ hordozható karos koordináta mérőgéppel végeztük.

Felépítésük szerint elsősorban három típusú koordináta mérőgépet különböztethetünk meg, ezek: -portális kivitelű mérőgépek, -horizontál karos mérőgépek, -csukló vagy humanoid karos mérőgépek (lásd 6. ábra)



6. ábra Különböző felépítésű koordináta mérőgépek

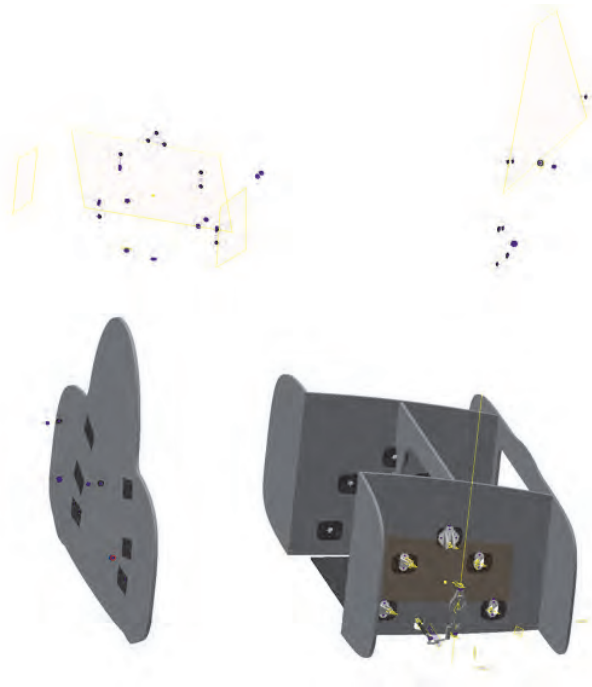
Mi az utóbbi humanoid karos mérőgép alkalmazása mellett döntöttünk a jármű karosszériájának komplexitása, illetve a mérési pontok elhelyezkedése miatt.

A mérőgép pozícióját úgy kell megválasztanunk, hogy a géptalp elmozdítása nélkül a lehető legtöbb mérési pont elérhető legyen, illetve, ha a mérés nem megoldható egy pozícióból, akkor egy bázis felületet tudunk kijelölni, amely a mérőgép áthelyezését követően közös mérési pontokat tartalmaz a korábbi pozícióval. Ezáltal a mérési eredmények összegezhetőek, összevethetőek lesznek. A mérésünket két pozícióból végeztük, közös mérési pontokat tartalmazó bázisfelület pedig a pilóta mögötti tűzfal és a rajta található futómű bekötési pontok voltak. Mérésünket Trimos manuális tapintócsúcsos mérőfejjel végeztük. (lásd 7. ábra)



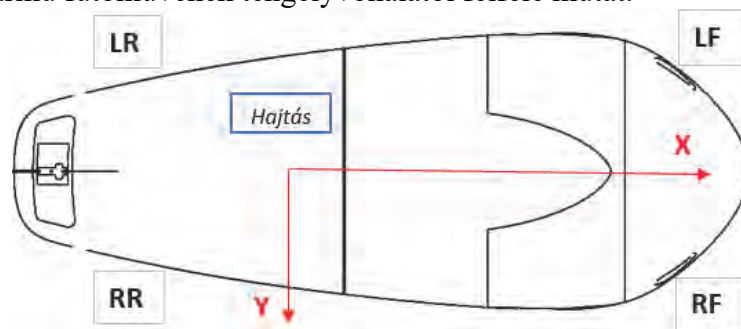
7. ábra Mérési pozíció felvétele (balra) és tapintócsúcsos mérőfej (jobbra)

A mérés eredményeként 3d felületmodelleket kaptunk mindkét mérési pozícióból, amelyeket a bázispontok alapján a korábbi járműmodellre illesztve vizsgálhattuk a tervezett modell és a mért jármű közti eltéréseket.



8. ábra Mérés eredményeként kapott nyers felületmodell (fent) és a korábbi járműmodellre illesztett felületmodellek (lent)

Ezt követően a modellhez rendeltem a járművünkre a tervezés során meghatározott koordináta rendszert, melynek az origója a jármű hátsó futóművének tengelyközepében található. Az x-tengely a jármű hossz tengelyében előre felé, az y-tengely kereszt irányban jobbra, a z-tengely pedig a jármű futóművének tengelyvonalától felfelé mutat.



9. ábra Tervezés során meghatározott koordináta rendszer

A felvett koordináta rendszer alapján már kinyerhetőek a mérési pontok és mért futómű, illetve karosszéria elemek pozíciói. Ezáltal a mérési eredmények XYZ koordinátáit táblázatba gyűjtöttem. (lásd 10. ábra)

| Pontok száma, neve | Bal | | | Jobb | | |
|--|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| Pont 1: Alsó lengőkar első csuklópont | 1445,684 | -338,235 | -79,25 | 1448,22 | 339,85 | -78,96 |
| Pont 2: Alsó lengőkar hátsó csuklópont | 1123,919 | -337,683 | -77,534 | 1126,44 | 340,86 | -77,67 |
| Pont 3: Alsó lengőkar külső csuklópont | 1293,4 | -485,713 | -101 | 1295,82 | 488,594 | -96,026 |
| Pont 5: Felső lengőkar első csuklópont | 1388,32 | -358,022 | 75,115 | 1390,43 | 355,45 | 75,96 |
| Pont 6: Felső lengőkar hátsó csuklópont | 1171,496 | -357,636 | 75,364 | 1173,52 | 356,142 | 75,84 |
| Pont 7: Felső lengőkar külső csuklópont | 1295,172 | -485,407 | 61 | 1297,67 | 484,527 | 65,923 |
| Pont 8: Lengéscsillapító lengőkar oldal | 1293,568 | -449,669 | -68,676 | 1295,871 | 451,374 | -64,891 |
| Pont 9: Lengéscsillapító karosszéria oldal | 1294,081 | -345,287 | 135,6 | 1295,929 | 341,44 | 136,15 |
| Pont 11: Nyomtávruúd külső csuklópont | 1229,18 | -450,993 | -121,984 | 1231,597 | 454,545 | -117,842 |
| Pont 12: Nyomtávruúd belső csuklópont | 1224,429 | -303,471 | -122,723 | 1231,539 | 307,412 | -128,366 |
| Pont 16: Rugó felső pont | 1294,081 | -345,287 | 135,6 | 1295,93 | 341,44 | 136,15 |
| Pont 17: Rugó alsó pont | 1293,568 | -449,669 | -68,676 | 1295,871 | 451,374 | -64,891 |
| Pont 18: Kerék tengely középpont | 1294,504 | -485,522 | 0 | 1296,969 | 486,058 | 4,942 |
| Pont 19: Kerék középpont | 1294,503 | -505,022 | 0,037 | 1296,963 | 505,552 | 5,431 |

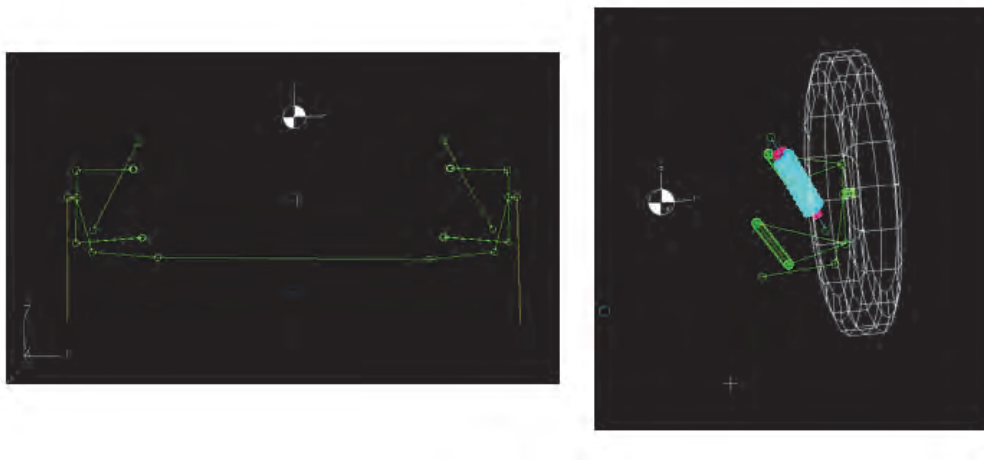
10. ábra Koordinátamérés eredménye

Az így kapott koordináták segítségével a mért és a tervezett első-futóműgeometriát először 3D vázlat segítségével ábrázoltam egy áttekinthető vizuális értékeléshez. (lásd 11. ábra) Az ábrán folytonos színes vonalakkal látható a kimért futóműgeometria, szaggatott vonallal pedig látható a tervezett futóműgeometria. Jól látható, az átlagosan 10,4 milliméteres eltérés a mérési pontok pozíciója között, valamint a futómű két oldalának aszimmetriája.



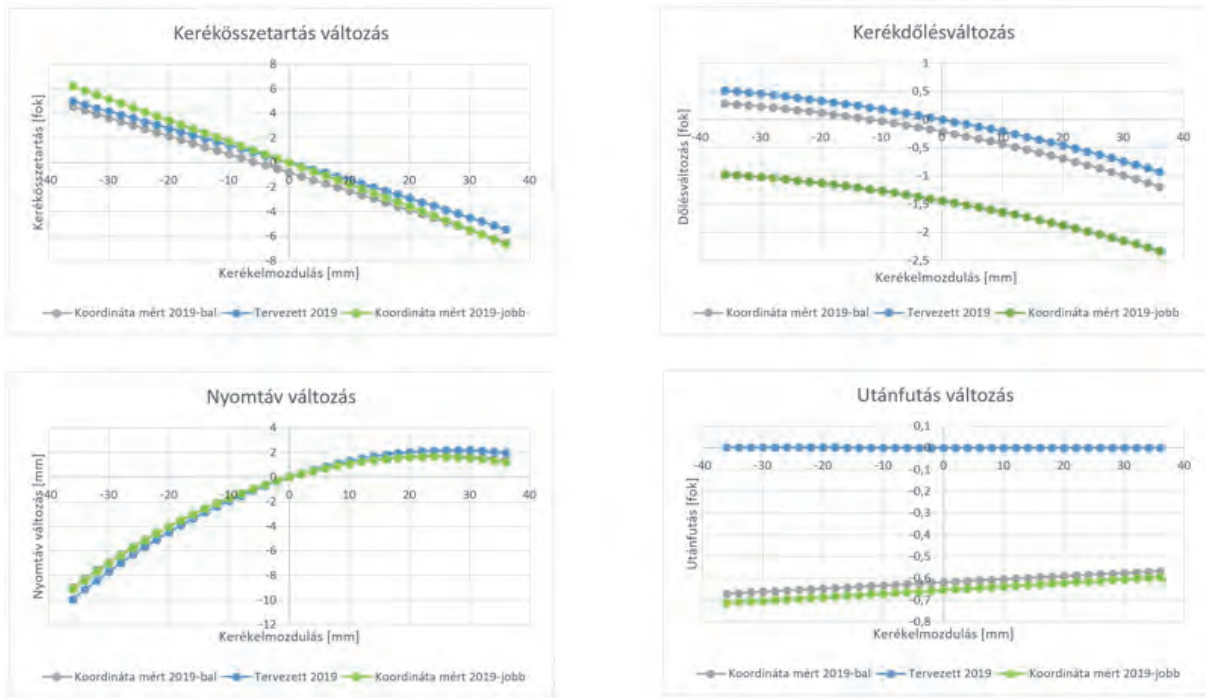
11. ábra Futóműgeometriák vizuális áttekintése

A futóműgeometria további vizsgálatát a Lotus Suspension Analysis futómű szimulációs szoftverben végeztem. Ezáltal ebben a szoftverben is felvettem a tervezett és a mért futóműgeometriákat a korábban bemutatott koordinátapontok alapján. (lásd 12. ábra)



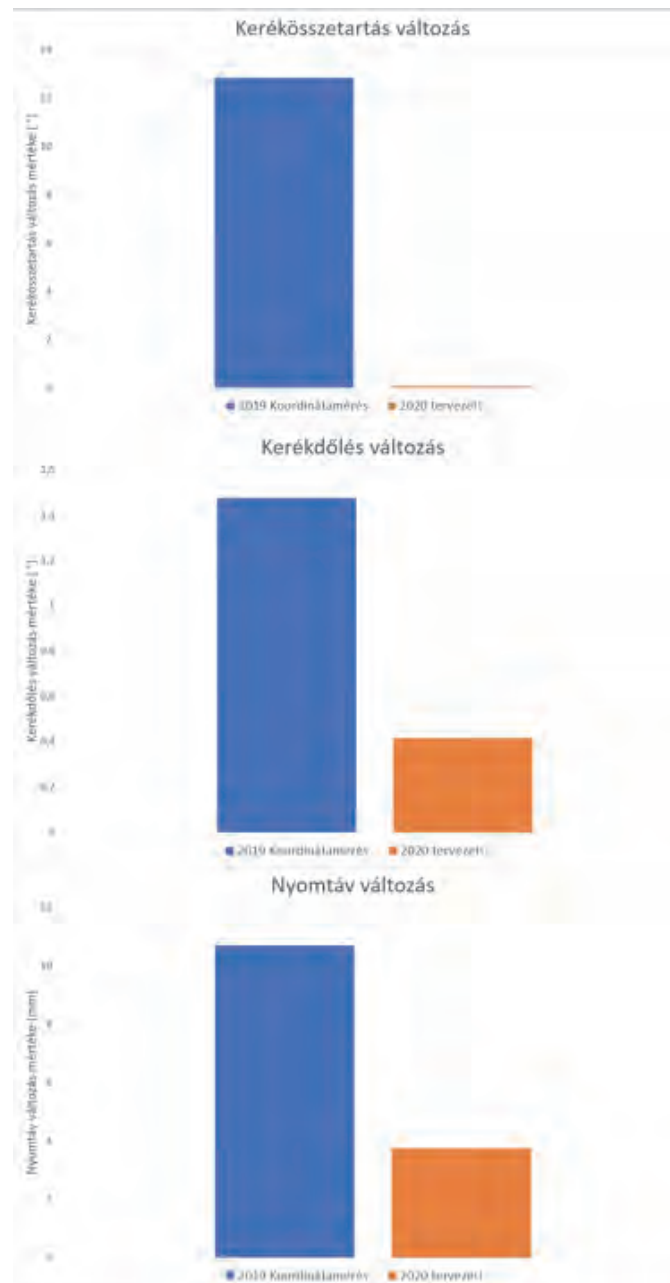
12. ábra Futóműgeometria szimulációs környezetben

Fontos paraméter továbbá a jármű haladása és rugózása során történő maximális kerék elmozdulási érték megadása, amely esetünkben +/- 35 mm. A futóműgeometria tervezése során célkitűzés volt, hogy a jármű haladása közben a lehető legkevésbé térjen el a statikus állapotban beállított jellemző futóműbeállítási paraméterektől. Ezáltal a szoftver segítségével a jármű rugózása során fellépő kerékösszetartás, kerékdőlés, nyomtáv és utánfutás értékeinek változását vizsgáltam. A szimulációs eredményeket Excel szoftverben grafikonon ábrázoltam. (lásd 13. ábra)



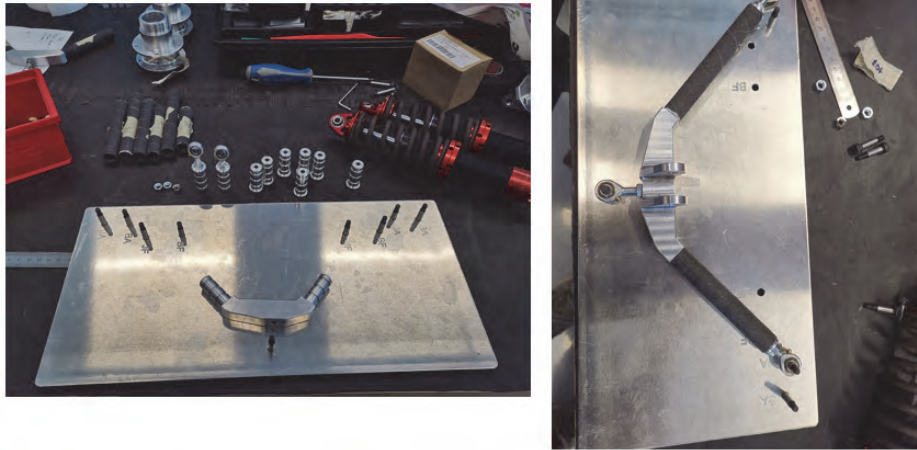
13. ábra Jellemző futóműbeállítási paraméterek a jármű haladása során

Megállapítható, hogy a tervezett geometriától való eltérés, illetve az aszimmetria jelentős mértékben hátrányosan befolyásolja a jármű menetellenállását, valamint a tervezett geometria sem tesz maradéktalanul eleget a tervezési kritériumoknak, mely szerint a jármű haladása közben ezen paraméterek változását minimálisra kell csökkentenünk. Látható, hogy a teljes kerék-elmozdulási tartományon a kerékösszetartás változás értéke 12 fok, tehát ha a jármű a statikus állapotban végzett futóműbeállítást követően, eltérő hasmagassági értéken halad, jelentős menetellenállás növekedés tapasztalható mindössze már a kerékösszetartás értékéből kifolyólag is. Ezáltal szükségesnek tartottam a futóműgeometria újra tervezését. A 2020-as évre, sikerült a korábban vizsgált paraméterek alapján, egy sokkal kedvezőbb geometriát tervezni, ahol figyelembe vettem már többek közt a koordináta mérés eredményeként kapott, futómű bekötési pontoknál jelentkező bal, illetve jobb oldali futóművek közti aszimmetriát is. Ezáltal a korábbi konstrukciónál legkedvezőtlenebb kerékösszetartás változás értékét, sikerült minimalizálnom, ezen kívül a nyomtáv változás és a kerékdőlés változás értékét is sikerült nagy mértékben csökkenteni. (lásd 14. ábra) Ezt elsősorban a lengőkarok hosszának és dőlésszögének, illetve a tengelycsonkállvány méreteinek módosításával tudtam elérni.



14. ábra Jellemző futóműbeállítási paraméterek változása a 2019. és 2020. évi geometriák között

A kapott eredmények alapján megállapított hibák javítására és a következőkben megelőzésükre javaslatot tettünk a karosszéria gyártástechnológiáját illetően. Ezen felül elkészült a korábban bemutatott fejlesztési eredmények alapján elkészült új futómű is, amely ragasztott elemeinek – így lengőkarjainak – összeszereléséhez ragasztó és pozícionáló szerszámot készítettünk, a tervek szerinti lehető legpontosabb kivitelezés érdekében. (lásd 15. ábra)



15. ábra Lengőkarok összeszerelése ragasztó-, pozicionáló szerszámban

4. Köszönetnyilvánítás

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

