

AZ IRÁNYÍTÁSON ÁT AZ AUTONÓM JÖVŐ FELÉ

AUTONÓM RENDSZEREK NEMZETI LABORATÓRIUM

A projekt az Európai Unió támogatásával, az RRF-2.3.1-2021 Nemzeti Laboratóriumok létrehozása, komplex fejlesztése c. konstrukció keretében valósult meg.

TARTALOM

A projekt	2
Köszöntő	3
Alkalmazási területek	4
Vezetői összefoglaló	5
A Nemzeti Laboratórium működése	10
Motiváció és küldetés	12
Legfontosabb eredményeink	13
Innováció & impakt	14
Társadalmi és környezeti hatások	15
Szervezeti felépítés, működés és partnerek	17
Teljesítménymutatók	21
Kutatási eredmények	22
Járműirányítási stratégiák	24
Környezetérzékelés és lokalizáció	26
Autonóm járműirányítás	28
Kooperatív járműirányítás	31
Robotikai modellezés és irányítás	33
Infokommunikáció	35
Kutatási infrastruktúra és platformok	37
Utánpótlásnevelés	41
Jövőkép és kutatási irányok	43
Munkatársak	46

A PROJEKT

Projekt azonosító száma: RRF-2.3.1-21-2022-00002
Támogatás: Támogatás: RRF-2.3.1-2021 Nemzeti Laboratórium létrehozása, komplex fejlesztése c. konstrukció az Európai Unió támogatásával
Időtartam: 2021. szeptember 20. – 2026. február 28.
Konzorciumi tagok: HUN-REN Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Széchenyi István Egyetem
Kiemelt stratégiai partner Autóipari Próbapálya Zala Kft. (ZalaZONE)
<https://autonom.nemzetilabor.hu>

KÖSZÖNTŐ



Dr. Gáspár Péter,
az ARNL projekt
szakmai vezetője

Az autonóm rendszerek lehetővé teszik, hogy a járművek és robotok emberi beavatkozás nélkül, önállóan működjenek, ami az iparágak széles körében javítja a hatékonyságot, a biztonságot, a skálázhatóságot és a megbízhatóságot. Ugyanakkor a mindennapi életünket is átformálják, hiszen megváltoztatják a munkavégzés, az utazás és a technológiával való interakció módját. Önvezető járművek használatával kerüljük el a súlyos kimenetelű közlekedési baleseteket, kooperatív forgalomirányítási rendszerek alkalmazásával enyhítjük a járművekkel túltelített városok torlódásait, mérsékeljük a dugók környezetet, gazdaságra és életminőségre gyakorolt káros hatásait. Drónokkal gyűjtünk adatokat a nehezen elérhető területeken, támogatva a mezőgazdaságot, a természetvédelmet, és a katasztrófaelhárítást. Az emberi élet védelmében robotok veszik át a veszélyes vagy monoton munkákat, és a mindennapok megkönnyítése a célunk a hatékony és integrált közlekedési és szállítási rendszerek létrehozásával.

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium munkatársai a tudományos kutatás, fejlesztés, és innováció révén próbálnak meg nap mint nap választ adni korunk talán legnagyobb és legösszetettebb kihívásaira. A három, önállóan is jelentős kapacitást képviselő intézmény együttműködése a kutatás új minőségét hozta létre: a projekt elmúlt három éve során a legmodernebb elméleti és gyakorlati eredményeket integrálva fenntartható, az iparban is hasznosítható autonóm rendszerek jöttek létre. A Nemzeti Laboratórium program alatt lezajló kül- és beltéri demonstrációk megmutatták, hogy a legújabb matematikai elméletek, új anyagok és technológiai megoldások, valamint a korszerű számítási és gépi tanulási eljárások alkalmazásával milyen válaszok adhatók a földi és légi közlekedés, a mobil robotika és a gyártórendszerek előtt álló fenntarthatósági, rugalmassági, együttműködési és biztonsági kihívásokra. Mindez nem csupán technológiai előrelépés: hozzájárul ahhoz is, hogy az autonóm megoldások társadalmi elfogadottsága nőjön, és a tudás ne elvont fogalom legyen, hanem megélt tapasztalat.

Dr. Gáspár Péter
szakmai vezető

AZ AUTONÓM RENDSZEREK ÉRZÉKELNEK, DÖNTENEK,
TERMELNEK, VEZETNEK, SŐT MÉG REPÜLNEK IS

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK



Autonóm közúti járművek

Kísérleti közúti járműveknek a rendszer-komponensekre és funkciókra is kiterjedő fejlesztése, melynek során egyes kiemelt részterületekkel, valamint feladatokkal kapcsolatos irányításméleti, valamint irányítástervezési szempontok és kutatási eredmények is messzemenően figyelembevételre kerülnek. E részterületek, feladatok az alábbiak: autonóm működés, földrajzi helymeghatározás, útkörnyezet detektálása, biztonságos kommunikáció, közúti járművek közötti, valamint közúti és más járművek közötti együttműködés, zavarásokra kevésbé érzékeny (robosztus), valós idejű működést lehetővé tevő megvalósítások, és demonstrálhatóság.

Autonóm légi járművek

Egy vagy több pilótánélküli légi jármű (UAV) használatát igénylő komplex repülési feladatok tervezése, végrehajtása, kiértékelése, valamint bemutatása. A feladatok végrehajtásában közreműködő autonóm rendszerek (pl. robot-pilóta), rendszer-komponensek tervezése, megvalósítása és tesztelése. Megjegyzendő, hogy e rendszereknek szigorú műszaki követelményeknek kell megfelelniük ahhoz, hogy a szükséges légi manőverek biztonságosan kivitelezhetőek legyenek. A gyakorlatban ez

-- egyebek mellett -- az UAV-n lévő szenzorok, a többkamerás látórendszerek, kommunikációs eszközök, aktuátorok összehangolt és/vagy szinkronizált működését igényli.



Autonóm robotika és gyártórendszerek

Olyan általános, valamint dedikált kiber-fizikai gyártó- és logisztikai rendszerek fejlesztése és működőképességük demonstrálása, amelyek autonóm rendszer-komponenseket is tartalmaznak. A kutató-fejlesztő (K+F) munka a terület alábbi rész-területeire összpontosít: autonóm robotika, ember-robot szimbiózis, együttműködés és közös munkavégzés. A K+F munka során a fizikai gyártó- és logisztikai rendszerek digitális – vagy más szóval: virtuális – "íker-testvérerei", vagyis részletes, szimulációra alkalmas funkcionális modelljei, is komoly szerepet játszanak majd.



VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ



Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium (ARNL) az autonóm rendszerek kutatásának nemzeti kiválósági központja. Küldetésünk a robotikára, az autonóm földi és légi járművek irányítására és azok együttműködésen alapuló koordinációjára fókuszál. A mesterséges intelligencia, az irányításmélet, a robotika és a kiberbiztonság multidiszciplináris együttműködésének és integrációjának köszönhetően robusztus ökoszisztémát építettünk ki, amely összekapcsolja az akadémiai szférát, a gazdaságot és a Neumann János Programban megfogalmazott kormányzati prioritásokat.

Munkánk előmozdítja a zöld és digitális átállást, erősíti a nemzeti technológiai szuverenitást, és hozzájárul a biztonságos, hatékony és intelligens autonóm rendszerek globális fejlődéséhez.



Az ARNL számos területen végzett elméleti és alkalmazott kutatásokat, ami innovációkat eredményezett a járműirányítási stratégiák, az érzékelés és lokalizáció, a kooperatív működés és a robotika terén.

Járműirányítási stratégiák

Kutatásaink egyik központi gondolata az adatvezérelt gépi tanulás és a modellalapú robusztus irányítás integrációja. Ez a hibrid megközelítés javítja a rendszerek adaptivitását és teljesítményét, amit szimulációkkal és fizikai tesztek során egyaránt bizonyítottunk. Új elméleti hozzájárulásaink:

- Újszerű diszkrét idejű rendszerábrázolás, amely hatékony, adatalapú irányítások tervezését teszi lehetővé.
- Gépi tanuláson alapuló modellaugmentáció, amely a fizikai modelleket és az adatokból származó dinamikát egyesítve hoz létre digitális ikreket.
- Közvetlen irányítástervezési módszerek ismeretlen mechatronikai rendszerekre, garantált megbízhatósággal.
- Ikermodelleken alapuló prediktív irányítási koncepciók fizikai szimulátorokban.
- Előrelépés a mélytanulás gyorsításában az online identifikáció és irányítás érdekében, zajtűrő statisztikai garanciákkal.
- Az ún. ultra-lokális modellstruktúra továbbfejlesztése az adaptivitás javítása és az instabilitás kezelése érdekében, autonóm pályakövetési kísérletekkel validálva.

Környezetérzékelés és lokalizáció

Vizsgáltuk a kamerák, radarok és LiDAR érzékelők bizonytalanságait a szűrési algoritmusok fejlesztése és az érzékelés megbízhatóságának javítása érdekében. Az alábbi innovációk támogatják a robusztus és megfizethető autonóm navigációt:

- Differenciálható újramintavételi sémák részecskeszűrők tanításához.
- Szenzorfüziós modellek, amelyek a kamera és a radar adatait kombinálják a pontosság javítása érdekében.
- LiDAR-alapú objektumkövetési és felületfelismerési algoritmusok, valós és szimulált körülmények között is tesztelve.
- Drónfelismerés LiDAR és neurális hálózat alapú osztályozás segítségével, a téves felismerések csökkentése.
- Alacsony költségű, érzékelő-fúzió alapuló lokalizációs módszer, amely radar-, kamera- és inerciális adatokat kombinál. A GPS vagy internet nélkül működő kültéri navigációs eszköz a legtöbb környezetben 10 méteres pontosságot ér el.
- Látás alapú mozgásbecslési és GPS-IMU fúziós módszerek légi járművek sodródásának detektálására.

Autonóm járműirányítás

A pályatervezés és az adaptív járműirányítás területén végzett kutatásaink számos megerősítő tanuláson (RL) alapuló módszert eredményeztek:

- Deep Q-Network és DDPG ágensek a közvetlen kormányzáshoz és a dinamikus pályatervezéshez.



- Meta-RL keretrendszerek a változó környezetekhez való online adaptációhoz.
- Hierarchikus RL rendszerek vészhelyzeti manőverekhez, több ágenses RL rendszerek forgalom és konvoj irányításához.
- Az ML-alapú és robusztus irányítórendszereket szimulátorokon és valódi tesztjárműveken is implementáltuk, és a ZalaZONE járműipari tesztpályáján kimerítően validáltuk.
- Az útvonal-optimalizáláson alapuló vezetőasszisztens alkalmazás jelentős energiamegtakarítást ért el az utazási idő minimális növekedése mellett.
- Az ARNL úttörő szerepet játszott a szélsőséges vezetési körülményekhez – például drifeléshez – és nagy sebességű kanyarokhoz szükséges vezérlőalgoritmusok fejlesztésében is.
- Etikus mesterséges intelligencia alapú vezérlőrendszert terveztünk a kritikus helyzetekben szükséges biztonságos manőverezéshez.

A légi járművek számára a laboratórium a következőket fejlesztette ki:

- Tehermozgató drónok, amelyek képesek autonóm felvételre és elhelyezésre mozgó platformokról.
- Adaptív irányítási eljárás kvadkopterek megbízható, agilis manőverezésének támogatására bizonytalan, változó működési körülmények között is.
- Vezérlőfelületek hibáinak detektálása és légi inspekciós megoldások.

Kooperatív járműirányítás

A földi és légi járműrendszerek együttműködése az ARNL kutatásainak egyik központi pillére. Az alkalmazások között szerepel:

- Optimalizáló algoritmusokkal támogatott objektumszállítás és logisztika.
- Drónokkal támogatott felderítés vészhelyzeti és védelmi műveletekhez.
- Integrált légi-földi képfeldolgozó keretrendszerek 3D-rekonstrukcióhoz.
- Neurális hálózat alapú V2X szimulációs keretrendszer, amely segítségével nagyméretű hálózatok is pontosan modellezhetők, csökkentett számítási igény mellett.
- Mesterséges intelligencia által vezérelt forgalomirányítási rendszerek, amelyek ipari PLC-ken is futnak, lehetővé téve az intelligens városok költséghatékony megvalósítását.
- Biztonságos városi interakciókat biztosító játékelméleti gyalogos-modellek.
- Prediktív és robusztus irányításon alapuló intelligens előzési és vezetéstámogató algoritmusok.
- A sebességkorlátozások közlekedésbiztonságára és környezetre gyakorolt árnyalatnyi hatásainak elemzése.



Robotikai modellezés és irányítás

Az ipari automatizálás területén digitális iker alapú robotrendszereket fejlesztettünk ki a tárgyfelvételi és -elhelyezési, diagnosztikai és összeszerelési műveletekhez. Főbb eredményeink:

- TRL-9 szintű robotos mérőrendszer elektronikus teszteléshez, amelyet most öt nemzetközi telephelyen alkalmaznak.
- Dinamikus rekonfigurációs modellek gyártósorokhoz, optimalizálva az ütemezést és az erőforrás-elosztást.
- Ember-robot együttműködési rendszerek, ideértve a gesztusvezérlést, a figyelmi szint monitorozását és az ütközésselkerülő kobotokat.
- Nagy nyelvi modellek (LLM) használata a gyártástervezés és a forgatókönyv-generálás segítésére.
- Energiaoptimalizált ütemezési algoritmusok bevezetése, amelyek a lineáris programozást a magyarázható mesterséges intelligenciával ötvözik, segítve a gyártási költségek és a kibocsátások csökkentését.
- Mobil építőrobot prototípus közlekedési terelőbóják automatizált elhelyezéséhez és összeszedéséhez.
- Head-up display (HUD) rendszerek szellemképmentes látószögének megnövelése betekintési irányonként különböző polarizációjú kép segítségével.



Infokommunikáció és kiberbiztonság

Módszertani keretet hoztunk létre a V2X rendszerek kibertámadásokkal szembeni ellenálló képességének értékelésére. A legfontosabb eredmények:

- A kommunikációs késések és a csomagvesztés biztonságra gyakorolt hatásának mennyiségi értékelése.
- Mesterséges intelligencia alapú védelmi irányítást támogató nagyszámú kibertámadás-szimulációs forgatókönyv.
- Minden más rendszertől független rádiós irányítás nagy hatótávolságú humán felügyelethez.

Elektromos és hibrid járművek akkumulátor-diagnosztikai és prediktív karbantartási módszereit is kidolgoztuk, amelyek az öregedés korai jeleit feszültségeltérés-elemzésen keresztül azonosítják.

Kutatási platformok és infrastruktúra

Az ARNL fejlett tesztkörnyezeteket épített a kutatás validálásának támogatására:

- Kísérleti járműplatform, amely egyben az automatizált parkolást és az intelligens városi funkciókat is demonstrálja.
- Kiterjesztett valóság tesztelési keretrendszer, amely integrálja a valós és virtuális közlekedési környezeteket.

- Beltéri tesztaréna (AIMotionLab) drónok és mobil robotok számára, a hibrid valós-virtuális működést lehetővé tevő digitális ikertestvérrel (AIMotionLab-Virtual).

A platformokhoz kapcsolódó további fejlesztések és gyakorlati innovációk:

- Többdrónos navigáció és útvonaltervezés dinamikus környezetekben.
- Hidrogén üzemanyagcellás drónmodellek kibocsátásmentes nagy hatótávolságú repüléshez.
- Fejlett GNSS állomás integrálva az európai hálózatba, geodéziához és légköri monitorozáshoz.
- A ZalaZone Park HD-térképe MATLAB felhasználók számára.
- Adatkezelő platform a HUN-REN felhőn valós idejű feldolgozáshoz, vizualizációhoz és biztonságos tároláshoz.

Hatás és hasznosítás

Az ARNL hatása kiterjed a kutatásra, a gazdaságra és a társadalomra. Számokban:

- 497 publikáció, ebből 130 Q1-es folyóiratban jelent meg, és 67 a legtöbbet idézett 10% közé tartozik.
- 10 hazai szabadalom, 3 nemzetközi szabadalom, 3 védjegyjelentés és 1 formatervezési mintaoltalmi bejelentés.
- 3 spin-off vállalkozás, amelyek bevétele több mint 900 millió Ft.
- A laboratórium összesített bevétele meghaladja a 6,2 milliárd forintot.
- 21 társadalmi és 11 környezeti előny azonosítása, amelyek 2030-ra várhatóan 850 000 embert érnek el, és összesen 177 milliárd forintnyi értéket képviselnek.

- A médiamegjelenések száma meghaladta az 1000 említést, növelve a társadalom tudatosságát az autonóm technológiákkal kapcsolatban.

Az autonóm technológia megértése és a bizalom megteremtése érdekében az ARNL nyilvános bemutatókat, innovációs versenyeket szervezett, illetve felméréseket készített a vezetéstámogató rendszerekkel kapcsolatos attitűdökről. Az eredmények korlátozott lakossági ismereteket és óvatosságot mutattak az autonóm és megosztott mobilitással kapcsolatban, ami hangsúlyozza a további oktatás és tájékoztatás szükségességét.



A NEMZETI
LABORATÓRIUM
MŰKÖDÉSE

MOTIVÁCIÓ ÉS KÜLDETÉS

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium tevékenysége a 2023 júniusában elfogadott Neumann János Programban meghatározott fókuszpontokhoz igazodik. Az innovációs stratégia lefekteti, hogy a kormány az egészséges élet, a zöld és a digitális átállás, valamint a biztonság témakörei köré tervezi fókuszálni innovációs befektetéseit.

Az ARNL küldetése az autonóm földi és légi járművek, illetve mobil robotok irányításához, valamint azok kooperatív összehangolásához kapcsolódó elméleti és alkalmazásorientált kutatások végzése. Ezek a kutatások a Neumann János Program több fókuszterületéhez is kapcsolódnak.

Az autonóm járművek segítik a digitális átállást, például a raktározás, a közúti és légi áruszállítás, és legfőképpen az emberek mobilitása területén. Ezek közvetetten a gazdaság zöld átállását is szolgálják az optimális közlekedésszervezésre, illetve a közlekedés károsanyag kibocsátására gyakorolt pozitív hatásán keresztül.

Kutatásaink hozzájárulnak a balesetek számának drasztikus csökkentéséhez, ami az egészséges élet fókuszponthoz kapcsolja a tevékenységünket.

Több alprojektünk céljai kötődnek a biztonság témaköréhez. Ezek közül kiemelkednek a földi

és légi járművek összekapcsolásával megoldott feladatok, továbbá a kiberbiztonsággal kapcsolatos kutatások, amelyek eredményei mind-mind a digitalizációs átmenet biztonságosságát növelik, emellett nemzetbiztonsági kérdések megválaszolásában, illetve megoldásában is segítséget tudnak nyújtani.

Kiemeljük továbbá az elektromobilitással és az akkumulátor-élettartam növelésével kapcsolatban végzett kutatásokat, amelyek közvetlenül segítik elő a gazdaság zöld átmenetének megvalósulását.

A kutatási tervünk további iránya a digitális átálláshoz kapcsolódó autonóm gyártás. Ez a terület – kapcsolódva az Ipar 4.0 kutatásokhoz – a termelés és ellátás digitalizálását tűzte ki célul és az ezzel kapcsolatos elméleti és gyakorlati problémák megoldásával foglalkozik.



LEGFONTOSABB EREDMÉNYEINK

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium az önvezető földi és légi járművek, a robotika és a kooperatív irányítórendszerek területén végzi innovatív munkáját. Vezető hazai kutatási központként alapvető célunk biztonságos, fenntartható, és intelligens autonóm rendszerek létrehozása és fejlesztése.

A Nemzeti Laboratórium munkájába összesen **335 kutatót** és 53 technikust vontunk be az évek során, akik közül **34-en** a Scientific Journal Rankings **D1-es** kategóriába tartoznak.

A Nemzeti Laboratórium tudományos eredményeit nemzetközi szinten kiemelkedő folyóiratokban publikálta, és konferencia-előadásokon személyesen is bemutatta. A **497 publikációból 130 Q1-es** folyóiratban, **39 Q2-esben** jelent meg, továbbá **67** olyan publikáció is született, amelyek szakterületükön a **legidézettebb 10%** közé tartoznak.

Az ARNL indulása óta **715 millió Ft** ipari bevételt és **1 724 millió Ft** hazai pályázati bevételt ért el. Nemzetközi felhívásokra benyújtott pályázatainak elfogadási aránya 32%, ami átszámítva **2 848 millió Ft** pályázati támogatást eredményezett. A spin-off vállalatok eddig **921 millió Ft** bevételt realizáltak. A laboratórium – további szerződésekből és pályázatokból reálisan várható bevételét is figyelembe véve – mindösszesen **9 032 millió Ft** bevételt produkált.

A projekt eredményeként eddig **10 hazai szabadalmat, 3 védjegyet, 4 nemzetközi szabadalmat és 1 formatervezési mintaoltalmat** nyújtottunk be. A Nemzeti Laboratórium **3 spin-off** cég alapítását támogatta.

A Nemzeti Laboratórium kutatói és fejlesztői aktívan részt vesznek az **egyetemi oktatásban** (BME Autonóm Járműirányítási MSc) és a jövő kutatóinak képzésében, ezzel is hozzájárulva a

tehetséggondozáshoz és a hazai kutatók számának növeléséhez. Az ARNL program kutatási és fejlesztési feladataiba **114 BSc** hallgatót, **74 MSc** hallgatót és **68 PhD** hallgatót / fiatal kutatót vontunk be, akik **183 TDK** dolgozatot írtak.

Az ARNL mind a társadalmi (21 db), mind a környezeti hasznosítás (11 db) tekintetében számos olyan eredményt tud felmutatni, melyek hatása a Nemzeti Laboratórium létjogosultságát igazolja. A 2030-ig tartó időszakban – becslésünk szerint – a **társadalmi haszonból** részesülők várható száma több mint **850 ezer fő**, továbbá a haszon összértéke több mint **177 milliárd Ft**. A pozitív **környezeti hatások** becsült összértéke több mint **27 milliárd forint**, és az érintettek várható száma több mint **15 millió fő**.

Eredményeink eddig mintegy **450** alkalommal jelentek meg a közösségi médiában, a hagyományos sajtómegjelenések száma pedig meghaladja a **650-et**.



AUTONÓM RENDSZEREK NEMZETI LABORATÓRIUM

INNOVÁCIÓ & IMPAKT



Digitális & autonóm
rendszerek



Zöld
átállás



Biztonság &
reziliencia



Ipar 4.0



Jármű és-
drónirányítás



Érzékelés és
lokalizáció



Kooperatív
rendszerek
(V2X, UAV-UGV)



Robotika és
intelligens
gyártás



Kiberbiztonság
és prediktív
karbantartás

497 publikáció

013 szabadalom

003 spin-off cég

6,2 milliárd
forint összes
bevétel

850 000
kedvezményezett
2030-ra



ZalaZONE
tesztpálya



AIMotionLab &
AIMotionLab -
virtual



AR/VR jármű-
szimulátor



GNSS
állomás



HUN-REN
adatfelhő

Kiemelt hatások



Biztonságosabb
közlekedés



Ipari
digitalizáció



Képzett munkaerő
fejlesztése

TÁRSADALMI ÉS KÖRNYEZETI HATÁSOK

Az autonóm technológia megértése és a bizalom megteremtése érdekében nyilvános bemutatókat, innovációs versenyeket szerveztünk, illetve felméréseket készítettünk a vezetéstámogató rendszerekkel kapcsolatos attitűdökről. Az eredmények az autonóm és megosztott mobilitással kapcsolatban korlátozott lakossági ismereteket és óvatosságot mutattak ki, ami kiemeli az oktatás és a tájékoztatás szükségességét.

A projekt keretében kérdőíves felmérést végeztünk, amelynek célja a fejlett vezetéstámogató rendszerekhez (ADAS) való viszony vizsgálata volt. A válaszadók kevésbé nyitottak az autómegosztó szolgáltatások (pl. robotaxi) iránt, inkább saját tulajdonban levő járművet használnának. A kutatás egyértelműen rávilágított arra is, hogy a magyar társadalom jelenleg még nem rendelkezik elegendő ismerettel a piacon elérhető vezetéstámogató rendszerekről sem, ami jelentősen akadályozza ezek elfogadását és használatát, valamint az autonóm technológia jövőbeli penetrációját.

Mindez igen sajnálatos, tekintettel arra, hogy az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium által a projekt keretében előállított társadalmi

haszon becslést értéke 2030-ig több mint 177 milliárd Ft, és az ebből részesülők várható száma több mint 850 ezer fő. Éppen ezért az autonóm rendszerek társadalmi hasznának bemutatására, az ilyen rendszerek által nyújtott lehetőségekhez kapcsolódó figyelemfelkeltés céljából több demonstrációs napot is tartottunk, ahol eredményeinket mind a szakmai, mind a laikus közönség megismerhette.

Ezek közé tartozik a Lexus kísérleti jármű, a megkülönböztető jelzést használó gépjármű UAVs támogatása, a csomópont-optimalizálás pályatervezők számára az emberi preferenciák alapján, az AIMotionLab tesztkörnyezet, a hálózatba kapcsolt járművek tesztelése, kiberbiztonságuk javítása, illetve a Smart Manufacturing Festival megszervezése.

Egy számítási példával illusztráljuk, hogy mennyire fontos lenne az autonóm rendszerek mielőbbi széles körű elterjedése.

- Egy emberi élet értéke – már amennyire ez kvantifikálható – egy 2004-es közgazdasági PhD disszertáció alapján legyen 400 millió Ft.
- Tavaly hazánkban a személyi sérüléssel járó balesetek száma 19 862, ebből 497 halálos kimenetű és 4721 súlyos sérüléssel járó baleset volt.
- A halálos balesetek 90%-a megelőzhető lenne autonóm járműirányítással.



- A gépjárművezető fáradtságának monitorozásával kapcsolatos fejlesztéseink segítségével az emberi hibázás lehetőségének 0,5%-át kiküszöbölhetnénk.

Mindezeket figyelembe véve a következő becslés adódik:

$$400 \text{ millió} \times 497 \times 0,9 \times 0,005 = 895 \text{ millió Ft / év}$$

Vagyis kizárólag a gépjárművezető fáradtságának monitorozásával kapcsolatos kutatásaink gyakorlatba átültetése évente két életet mentethetne, és ezzel 900 millió forint társadalmi hasznot hozna. A technológia rendelkezésre áll, csak használni kellene.

A Nemzeti Laboratórium kutatói és fejlesztői aktívan részt vesznek az egyetemi oktatásban és a jövő kutatóinak képzésében, ezzel is hozzájárulva a tehetséggondozáshoz és a hazai kutatók számának növeléséhez. A középiskolásoknak tudomány népszerűsítő és pályaeorientációs előadásokat tartanak, versenyeket szerveznek, míg az egyetemi hallgatók számára kutatási és fejlesztési tevékenységekben és versenyeken biztosítják a részvételt. Emellett TDK kutatásokon túlmenően vállalják BSc/MSc szakdolgozati témák kiírását és azok mentorálását.

A mesterséges intelligencia módszereinek autonóm rendszerekben való alkalmazását látványosan demonstrálják az autonóm járműversenyzésre kidolgozott megoldásaink, amelyekkel sikeresen szerepeltünk nemzetközi versenyeken.

Az eredmények disszeminációján túl – az autonóm rendszerek társadalmi elfogadottságának aktív növelése céljából – a kritikus helyzetek kezelésére is alkalmas, etikus manőverezést megvalósító irányítást dolgoztunk ki, amely egy irányítástervezési struktúrában kvalitatív és kvantitatív módon is értékeli a közlekedési szituációt, és az emberi résztvevők számára kiszámítható mozgást tervez az autonóm jármű számára.

Az ARNL által előállított környezeti haszon szintén nem elhanyagolható: becsült értéke 2030-ig több mint 27 milliárd Ft, és az érintettek várható száma több mint 15 millió fő. Ez a szám túlzónak tűnhet, de míg a biztonságos és energiahatékony jármű-közlekedési tanácsadó rendszerek, a hálózatba kapcsolt jelzőlámpás közúti keresztezések gépi tanulás alapú irányítása, a moduláris buszvezető monitoring rendszer, vagy éppen a gépjárművezető fáradtságának monitorozása a közlekedés közvetlen résztvevőit befolyásolja, addig a GNSS mérések alapján légköri károsító adatok előállítása az Európai Meteorológiai Szolgálatok Hálózata számára, vagy az elektromos járművek tápellátó rendszerének biztonsága közvetve szinte a teljes társadalomra kihatással bír.

Számítási példaként tekintsük a hálózatba kapcsolt, jelzőlámpás közúti keresztezések irányítását.

- Szimuláció alapján a módszerrel ~10% CO² kibocsátás-csökkenés érhető el.
- Budapest közlekedésből származó CO² kibocsátása 1 794 906 tonna CO² / év.
- Az algoritmus segítségével 5% hatékonyságnövekedés érhető el, ezzel számolva 89 745 tonna CO² / évet kapunk.
- 1 tonna CO² kvóta ~100 EUR.

Mindezek alapján a környezeti haszon:

$$100 \times 89\,745 = 8\,974\,500 \text{ EUR / év} = \sim 3\,500 \text{ millió Ft / év.}$$

Hasonló közelítő számításokkal becsültük a Nemzeti Laboratórium többi tevékenységének környezetre gyakorolt hatását is.

SZERVEZETI FELÉPÍTÉS, MŰKÖDÉS ÉS PARTNEREK

Az ARNL a szigorú vállalati protokollok kötöttségeitől mentesen, költséghatékonyan tud foglalkozni olyan KFI problémákkal, amelyek a vállalatok és a befektetők számára túlságosan kockázatosak. Az ARNL-en belül, és a partnerintézményekben a tudományos és mérnöki ismeretek rendkívül széles spektruma érhető el azonnal, nemzetközi színvonalon, a cégek számára kedvező üzleti konstrukcióban. A konzorciumnak jobb lehetőségei vannak komoly támogatás és pénzügyi források eléréséhez.

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium három kiváló kutatási kapacitással és kutatói körrel rendelkező intézmény egységeit foglalja magában, amelyek a kutatás-fejlesztési eredményességen túl az utánpótlásnevelés területén is kiemelkedő teljesítményt nyújtanak.



SZÁMÍTÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓINTÉZET

A HUN-REN Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet a HUN-REN kutatási hálózat tagja, az ország legnagyobb múltú és legsikeresebb informatikai kutatóintézete.



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közép-Európa és Magyarország legnagyobb presztízs-szel rendelkező műszaki egyeteme, 1782-es alapításával a világ első műszaki egyeteme.



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

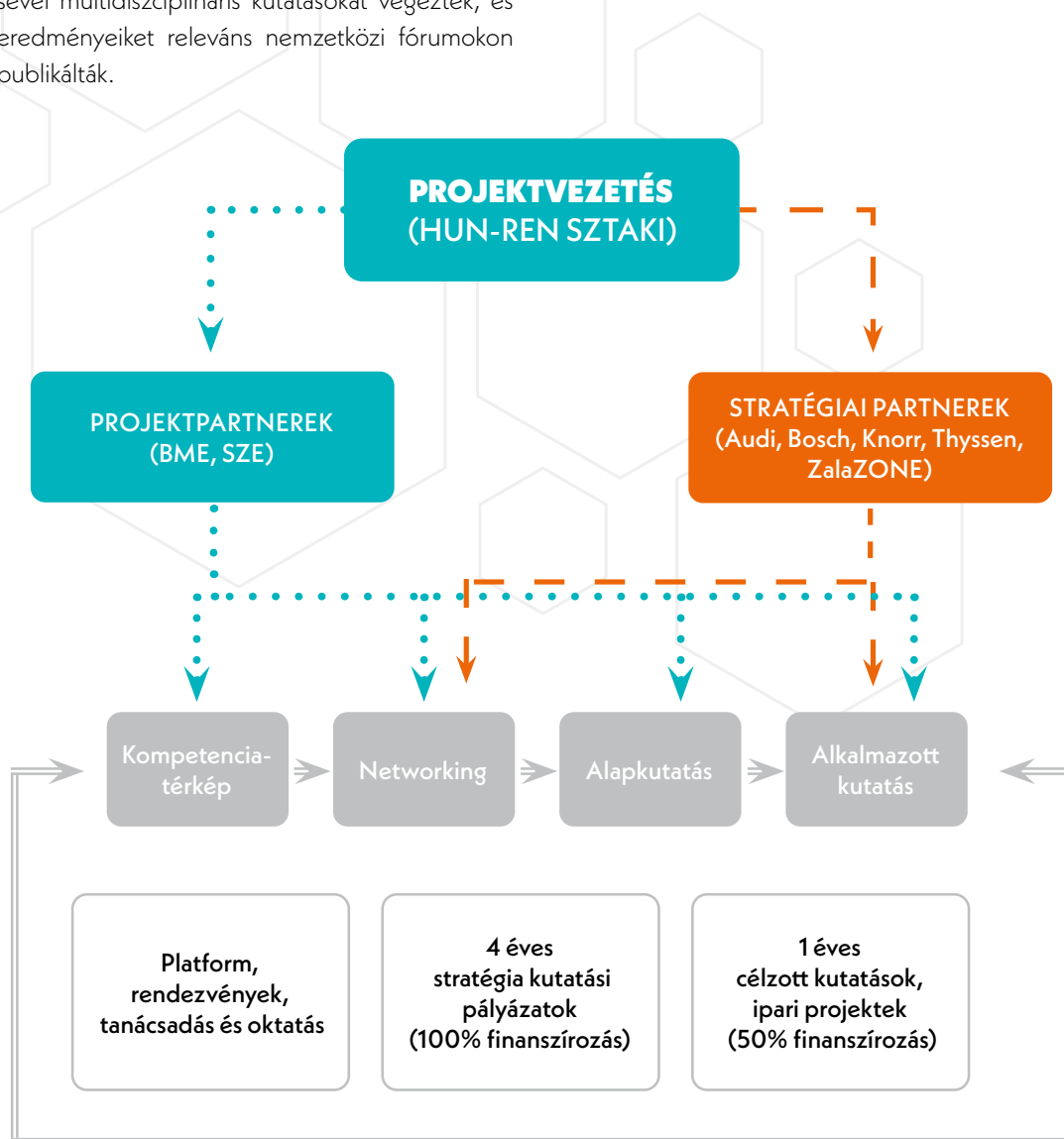
A Széchenyi István Egyetem nagy presztízsű, dinamikus fejlődő műszaki egyetem Győrben, az 1968-ban megalakult Műszaki Főiskola 2002-ben egyetemi rangot szerzett jogutódja.

A Nemzeti Laboratórium alapító tagjai az indulás óta eltelt időszakban felmérték az autonóm rendszerek témaköréhez kapcsolódó – azzal aktívan foglalkozó vagy az eredményeket alkalmazó – hazai intézményeket és vállalkozásokat. Belőlük a labor köré szerveződő hálózat jött létre, amelyen keresztül a résztvevők információt cserélhetnek a pályázati lehetőségek, a tudományos és ipari state-of-the-art vagy éppen a gyakorlati best practice-ek vonatkozásában.

Az autonóm rendszerek területén a kutatóintézeti, egyetemi és ipari szektorokban végzett tevékenységek között jelentős szakadék húzódik. A Nemzeti Laboratórium által összefogott szervezetek között mind a három terület képviselői megtalálhatóak. A labor kiemelt feladata a K+F+I tevékenységek szektorokon átvívelő összehangolása, a töredezettség felszámolása, a tudástranszfer, a hazánkban hiányterületnek számító diszciplínák becsatornázása és egyfajta kooperációs platform kialakítása a kutatás hatékonyabbá tétele érdekében.

Az ARNL alapvető célja az elért alapkutatási eredmények gyakorlati hasznosítása, a vállalkozások innovációs teljesítményének növelése és a K+F+I ökoszisztéma szereplői közötti kooperáció erősítése. E folyamat katalizátorai az alapító intézmények, melyek alapkompenciáik és a feltárt hiányterületek integrációjával és továbbfejlesztésével multidiszciplináris kutatásokat végeztek, és eredményeiket releváns nemzetközi fórumokon publikálták.

A Nemzeti Laboratórium konzorciumi partnerei – akadémiai jellegükből fakadóan – nem vettek részt közvetlenül a termékfejlesztésben, azonban a stratégiai iparvállalati partnerek tanácsadó szerepvállalásán keresztül a piaci információk is becsatornázásra kerültek a labor működésébe.



Az ARNL kiterjedt kapcsolatrendszerrel rendelkezik és széleskörű együttműködést folytat nemzetközi kutatóközpontokkal és egyetemekkel. Tagjai számos meghatározó nemzetközi szervezetben vesznek részt.

Valamennyi kutatott területen ipari együttműködések is vannak, amelyeket új partnerek keresésével és pályázati vagy projektgyüttműködések formájában állandóan tovább bővítünk.

KIEMELT PARTNERVÁLLALATOK ÉS -SZERVEZETEK



KIEMELT EGYETEMI ÉS KUTATÓINTÉZETI PARTNEREK



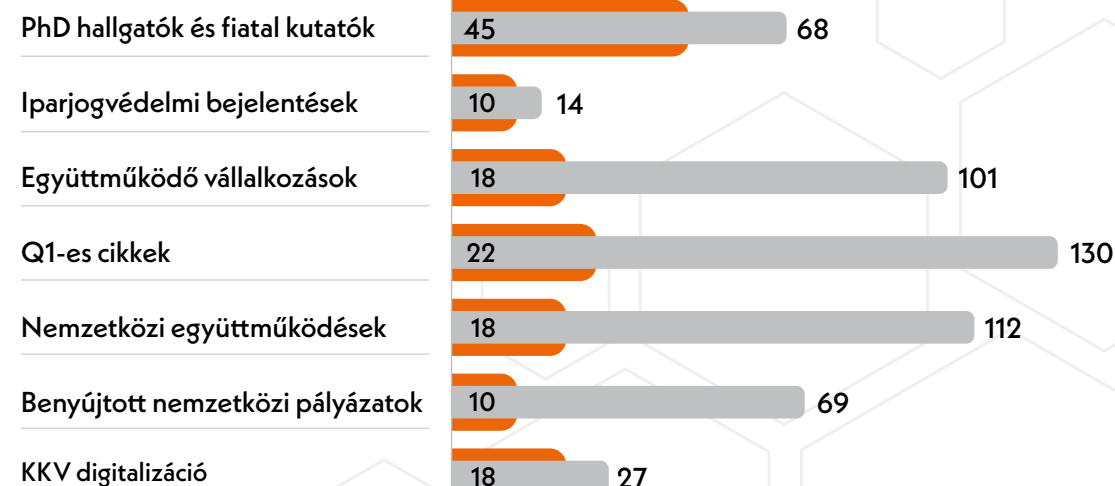
KÖZREMŰKÖDÉS VÁLLALKOZÁSOK DIGITALIZÁCIÓJÁBAN

VÁLLALAT	EGYÜTTMŰKÖDÉS TARTALMA
aHead Photonics Kft.	Nagylátószögű head-up display
Albacomp Elektronikai Kft.	Közös workshopok
D3 Seeron Kft.	Lidar-kamera szenzorfüzió
DriveByCloud Kft.	Valós idejű ikermodellre épülő innovatív szolgáltatások
Hepenix Kft.	Mesterséges intelligencia alapú rugalmas ember-robot gyártási technológia kifejlesztése digitális iker és valós cella in-situ szinkronizált működtetésével. TRL6-os szintű, ipari-lag releváns tesztkörnyezet biztosítása. Közös KKV-fókusz és TÉT pályázatok.
Inventure Automotive Kft.	CAN adatrögzítő egység fejlesztése
Ivy Technology Kft.	Áramkörök elektronikai mérésének robotos automatizálása
Közlekedés tervező Iroda Kft.	Forgalmi mérési adatok digitalizációja
Lillyneir Kft.	Baleseti kockázati szintek modellalapú meghatározása
Microsec Kft.	Digitális hitelesítés a közúti közlekedésben
MM-Vill Kft.	Közös HE kaszkád pályázat
MouldTech Systems Kft.	Tesztautó HMI egység mechanikai installációja
NCT Kft.	Autonóm NC szerszámgép digitális ikermodellje
Prolan Irányítástechnikai Zrt.	Mozdonyvezető támogató applikáció
QTICS Automotive Zrt.	Autóipari tesztek teljesen digitális környezetben
SDR Technologies Kft.	Mesterséges intelligenciával vezérelt robot
Theco Kft.	Közös munkaterületek kialakítása
Willisits Mérnökiroda Kft.	Gokartpálya digitális időmérő rendszere

TELJESÍTMÉNYMUTATÓK

KÖTELEZŐ VÁLLALÁSOK TELJESÍTÉSE

Célérték és aktuális érték



TUDOMÁNYOS HATÁS

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Összesen
A Laboratórium elindulása óta megjelent publikációk száma (db)	4	88	95	91	95	124	497
Megjelent publikációkból Q2-es publikációk száma (db)	2	10	8	10	0	9	39
Megjelent publikációkból Q1-es publikációk száma (db)	1	23	22	28	20	36	130
Megjelent publikációkból világszinten legidézettebb 10% közé tartozó tudományos publikációk száma (db)	0	4	16	14	15	18	67

KUTATÁSI EREDMÉNYEK



JÁRMŰIRÁNYÍTÁSI STRATÉGIÁK

Kutatásaink egyik központi eleme az adatvezérelt gépi tanulás és a modellalapú robusztus irányítás integrációja. Ez a hibrid megközelítés javítja a rendszerek adaptivitását és teljesítményét, amit szimulációkkal és fizikai tesztekkel egyaránt bizonyítottunk.

Egy új adatalapú, diszkrét idejű rendszerábrázolást javasoltunk, amely az elemzési és tervezési feladatokat támogatja. Feltételt adtunk meg, amely mellett egy adott trajektória-halmaz tényleges rendszerábrázolást generál, és bemutatunk ezen reprezentációk kimerítő paraméterezését is. Új realizációelméleti eredményeket értünk el az adatalapú irányítástervezési eljárások hatékonyságának növelésében, ami alkalmas mélytanulási identifikációs eljárások valós időben történő futtatására.

Nagyméretű, járműdinamikai méréseket tartalmazó adathalmazok alapján lokális érvényességű lineáris modelleket identifikáltunk, amelyek között döntési fák segítségével határozzuk meg az aktuális munkapontot. Az így létrejött modellserreg alapján egy LPV (Linear Parameter Varying) struktúra építhető fel, amely lehetővé teszi robusztus irányítástervezési módszerek alkalmazását. Ezek a módszerek képesek együttműködni

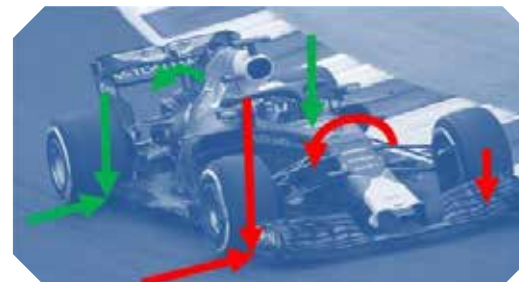
a nem hagyományos irányítással, függetlenül annak struktúrájától, ha a stabilitás, a performancia és a konvergencia feltételei teljesülnek.

A kutatás eredménye a forgalomban való biztonságos és energiahatékony részvételt biztosító autonóm járműirányítás. Mesterséges intelligencia alapú és robusztus irányítási eljárásokat dolgoztunk ki közös optimalizálási feladatban a hatékony működés elérésére. A tervezett irányítást járműdinamikai és közlekedési szimulátorban, beltéri mobil járművön és kültéri valós tesztjárművön elemeztük.

Fontos szerepe van az adatvezérelt gépi tanulási módszerek és a modellalapú robusztus irányítási módszerek integrálásának, amit vagy közvetlen együttműködéssel vagy felügyelő (supervisor) alkalmazásával valósítunk meg. A módszerek integrált alkalmazásával az irányítás minőségi jellemzőinek szintje jelentősen növelhető, illetve az elkészült rendszer viselkedése a költségfüggvény paraméterezésével közvetlenül befolyásolható. A módszer hatékonyságát autonóm járművek oldalirányú irányítási feladatán keresztül mutattuk be szimulációs környezetben, és egy változtatható geometriájú futóműpadon is validáltuk.

Kidolgoztuk az ultra-lokális modell hibaalapú változatát, amelyet ultralokális MFC alapú megfigyelő- és irányítástervezéshez használtunk. Ez az új struktúra képes kezelni az instabilitási problémákat, miközben megtartja az adaptivitás

előnyeit. A javasolt eljárást sikeresen alkalmaztuk autonóm járművek pályakövető irányítástervezésére, amit valós körülmények között implementáltunk és validáltunk.



Gépi tanulás alapú modell-augmentációs eljárásokat fejlesztettünk ki, amelyek képesek egy adott fizikai rendszer digitális modelljét automatizáltan megalkotni a már meglévő mérnöki és fizikai ismeretek, az iparban használt alapmodellek és az adatból rekonstruálható dinamikai relációk ötvöztetésével. A létrejött digitális ikermodellek felhasználhatóak a rendszer dinamikai viselkedésének analizálására és szabályozó algoritmusok tervezésére.



Olyan eljárásokat fejlesztettünk ki, amelyek idő- vagy frekvenciaadatok alapján közvetlenül képesek szabályozót tervezni egy ismeretlen mechatronikai rendszerre, úgy, hogy a működés megbízhatósága matematikailag garantált. Kutatási eredményeink lehetővé teszik a költséges és sok szakértelmet igénylő modellezés kiiktatását, automatizálják a szabályozótervezést, és biztosít

ják a szabályozók rekurzív adaptálhatóságát, alkalmazkodva a dinamikai változásokhoz.

A bonyolult mechanikai rendszerek modellezésének célja a mozgás dinamikájának megértése. A befolyásoló paraméterek változására történő reakciók elemzése lehetővé teszi a teljesítményhatárok jobb megértését, és adatokkal szolgálhat a tervezéshez és irányításhoz.

Olyan prediktív irányítási koncepciót dolgoztunk ki, amelyben az aktuális beavatkozási számítását a fizikai összefüggésekből levezetett, differenciálegyenletek formájában adott modell helyett közvetlenül a fizikai (multi body) szimulátorban összeállított ikermodell segítségével számoljuk ki.

A mechatronikai iparban rég bevált gyakorlat, hogy szabályozókat közvetlenül terveznek az adott eszközön kimért frekvenciaválasz-függvényre, az analitikus modellezés kihagyása nélkül. Az ún. Koopman-operátoros modellek mélytanulása révén ezen a területen nemzetközi szinten is átütő elméleti és gyakorlati eredményeket értünk el.

Olyan módszereket is kidolgoztunk, amelyek segítségével az adatalapú modellezésben és szabályozásban számottevően fel tudtuk gyorsítani a mélytanulási eljárásokat, lehetővé téve az online megoldásokat. Eljárásunk statisztikai garanciák mellett biztosítja a modellek tanulását zajos mérések és zavarások jelenlétében.



KÖRNYEZETÉRZÉKELÉS ÉS LOKALIZÁCIÓ

A szűrési algoritmusok fejlesztése és az érzékelés megbízhatóságának javítása érdekében tanulmányoztuk a kamerák, radarok, LiDAR-ok és más járműipari érzékelők bizonytalanságait. Az alábbi innovációk támogatják a robusztus és megfizethető autonóm navigációt.



Kamerák, radarok és más járműipari érzékelők mérési bizonytalanságait (hamis jelek, mérési zajok) szimulációval vizsgáltuk, és összevetettük a különböző szűrőalgoritmusok valós idejű teljesít-



ményét. Differenciálható újra-mintavételi sémát dolgoztunk ki a részecskeszűrők gradiens-alapú tanításához.

A kifejlesztett félautomatikus ground-truth generáló eljárásban monokamera és radar adatokat használtunk a mozgó objektumok minél pontosabb annotálására. Valós scenáriók alapján objektumszintű szimulációs modellt készítettünk, amely élethűen reprodukálja a radar- és kameramérések.

Valós járműkísérletek során objektumdetektálás és -követés, és a dinamikusan változó környezet vizsgálata zajlott szimulációs és valós környezetben.

Emellett útfelület-eltérés detektáló algoritmust fejlesztettünk ki. Részletesen megvizsgáltuk a nem-periodikus szkennelésű LiDAR szenzorok

mérési adatait objektumdetektálási és szegmentációs feladatokra. Statikus térfigyelő rendszerekben robusztus megoldásokat kutattunk és fejlesztettünk ki az előtér és a háttér elkülönítésére.

Nagy sebességgel manőverező légi járművek mozgástámogatására dinamikus háttér előtti drónészlelési, -felismerési és -követési eljárást fejlesztettünk ki rozettaszkenelési mintát alkalmazó LiDAR alkalmazásával, ritka pontfelhő-adatokra alapozva.

Ezen felül egy osztályozási hálózatot szemantikai szegmentációs hálózattal integráló algoritmust terveztünk és fejlesztettünk ki, amely hatékonyan képes kiszűrni a madarak és egyéb repülő objektumok által okozott téves észleléseket.

Szenzorfúziós kutatások eredményeként új, numerikus komplexitásában jobb kamera-radar



fúziós megoldást fejlesztettünk ki, egy szenzor-szimulációs és egy ground-truth generáló algoritmussal együtt. Bayes-i inferenciát alkalmazó neurális hálózatot dolgoztunk ki a szenzorfúzióra épülő lokalizációs eljárás megvalósításához.

A teljesen autonóm önvezetés megvalósításához pontos, robusztus és mindenhol elérhető helymeghatározási funkciót fejlesztettünk. A feladat megoldására a rendelkezésre álló szenzorok fúzióján alapuló módszert javasoltunk. A járművek lokalizációját és egyéb állapotait (pl. orientáció, hosszanti és keresztirányú sebesség) becslő algo-

ritmus költséghatékony érzékelők jeleit használja fel, és hatékony szenzorfúziót alkalmaz.

Az infrastruktúrába telepített kamerák segítségével megvalósított monokuláris járműdetektálást és karosszériaforma-bebecslést dolgoztunk ki. Idő-sor alapú feldolgozás segítségével a detektálás konzisztenciáját és megbízhatóságát tovább javítottuk.

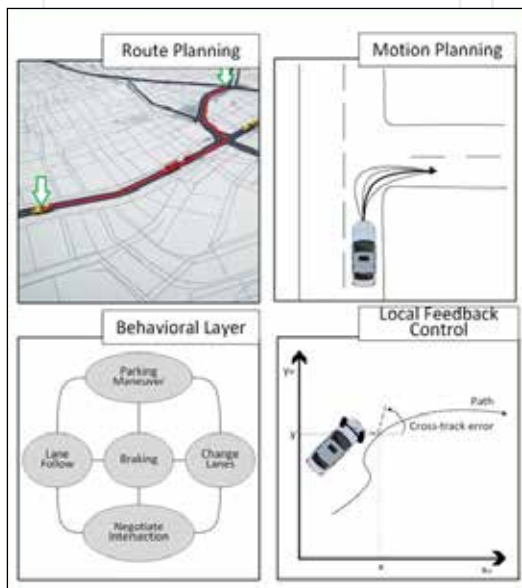


Légi járművek esetén kidolgoztunk egy olyan módszert, amely a képi adatok alapján eldönti, hogy csak rotációs vagy translációs mozgást is végzett a kamera, illetve sík vagy 3D felület pontjait látja-e. Az esetek szétválasztásának köszönhetően a specifikus képfeldolgozási módszer kiválasztható és a kamera mozgás-paraméterei nagy pontossággal kinyerhetők. A mozgásparaméterek meghatározását optikai áramlás alapú szögsebesség-bebecsléssel végeztük, egyre pontosabb lineáris megoldásokat adva az eredetileg nemlineáris számítási feladatra. További kutatásban a GPS eltérítés hatását vizsgáltuk a GPS-IMU fúziót alkalmazó állapotbecslésre, illetve módszert adtunk a kamera-kép alapú eltérítés detektálásra.

AUTONÓM JÁRMŰIRÁNYÍTÁS

A pályatervezés és az adaptív járműirányítás területén végzett kutatásaink számos megerősítéses tanuláson alapuló módszert eredményeztek. A mesterséges intelligencia alapú és robusztus irányítórendszereket mind szimulátorokon, mind valódi tesztjárműveken implementáltuk, és a ZalaZONE járműipari teszt-pályáján kimerítően validáltuk.

Az önvezetés egyik kulcskérdése annak a trajektóriának a megtervezése, amelyen a jármű biztonságosan és hatékonyan képes haladni, elkerüli az akadályokat, és valós időben reagál a folyamatosan változó környezetre.



Több módszert dolgoztunk ki: a Deep Q-Network alapú módszer közvetlenül a jármű szöghibái és pályakövetési hibái alapján ad kormányzási parancsot; egy DDPG-ágenssel kombinált módszer megvalósíthatósági alapú pályatervezést ad; az RL-alapú útvonaltervező kritikus szituációkban dinamikailag megvalósítható pályákat hoz létre; a Twin Delayed DDPG alapú módszer mozgó objektumok kikerülésére képes folyamatos újrater-

vezéssel; az online adaptációs megoldás pedig egy meta-RL keretrendszert alkalmaz a gyorsan és előre nem látható módon változó környezethez.

Kidolgoztunk egy hierarchikus megerősítéses tanuló rendszert, amely vészhelyzeti kitérő manővereket képes tervezni és végrehajtani. Az egylépéses RL-ágens a trajektóriát tervezi, míg a modell-prediktív szabályozó a beavatkozást hajtja végre.

Multiágens-alapú megerősítéses tanuló rendszereket fejlesztettünk jelzőlámpás kereszteződések, autópályák változtatható sebességhatároló táblái és járműkonvojok irányítására.

Olyan autonóm járműirányítást dolgoztunk ki mesterséges intelligencia és robusztus irányítási eljárások integrálásával, amely képes biztonságos és energiahatékony haladásra városi környezet forgalmában. A tervezett járműirányítást integráltuk járműdinamikai és közlekedési szimulátorban, beltéri mobil járművön és kültéri valós tesztjárművön. Az eredmények értékelésére és demonstrációjára nagy mennyiségű tesztelést hajtottunk végre a ZalaZONE tesztpályán, elemeztük a gyalogosokkal való interakciót, illetve kiterjesztettvalóság-megoldással ellenőriztük a haladást valós forgalomban.

Úttörő eredményeket értünk el a járművek tapadási határon történő mozgásszabályozásában és mozgástervezésében. Kifejlesztettünk több

olyan algoritmust, amelyek lehetővé teszik a járművek számára, hogy biztonságosan és stabilan működjenek extrém menetdinamikai állapotokban, például drift vagy hirtelen irányváltás során, amikor a hátsó gumibroncsok már telítettek, a stabilitás pedig nehezen tartható fenn. A megoldások egy része megerősítéses tanuláson alapul, másik részük nemlineáris optimalizációt alkalmaz.



Megerősítéses tanulással és matematikai optimalizálással energia- és időhatékony gazdaságos haladást lehetővé tévő sebességre adtunk javaslatot. Elméleti kutatási eredményekre épülő, szimulációval és közúti teszteléssel is alátámasztott járműtípus-független gyakorlati alkalmazást dolgoztunk ki. Elkészült egy mobilapplikáció prototípus verziója. A megoldás figyelembe veszi a domborzati viszonyokat, a sebességhatároló táblákat, az úton haladó járművek által meghatározott sebességviszonyokat. A kidolgozott módszert valós körülmények között elemeztük, 5-10%-os energiamegtakarítást értünk el, miközben a menetidő csak 1-3%-kal növekedett.

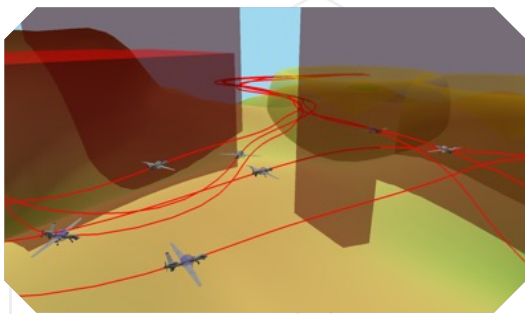
Hatékony pályatervező eljárásokat dolgoztunk ki nagyszámú drón navigációjának támogatására



mozgó és álló akadályokat egyaránt tartalmazó, erősen tagolt környezetben. A módszerek alkalmazásak veszélyzónák hatékony kezelésére, támogatják a gyors újratervezést, ami lehetővé teszi a gyors alkalmazkodást a környezet változásaihoz.

Autonóm drónokhoz kapcsolódó kutatásaink során értékes eredményeket értünk el a navigáció és az észlelés területén. Beltéri kvadrokopterekre épülő rendszerek számára a MAPF (Multi-Agent Pathfinding) eljárást egészítettük ki új funkciókkal, amelyek figyelembe veszik a repülési környezet bizonytalanságait és hatékonyan kezelik a veszélyzónákat. A dinamikusan változó környezetben történő navigáció támogatására folytonos





pályát eredményező korrekciós eljárást dolgoztunk ki, valamint nagyfelbontású foglaltsági mátrixokra épülő többszintű tervezési megoldásokat vezettünk be, amelyek képesek kezelni a veszélyzónákat 3 dimenziós térben.

Kültérben navigáló drónok és merevszárnyú repülőgépek számára fejlesztettük ki a mozgásp primitíveken alapuló módszert. Az új eljárás kidolgozásával nagymértékben csökkentettük a pályatervezés alapját képező gráfkeresés komplexitását, részben párhuzamosítottuk az algoritmust, így jelentős mértékben tudtuk csökkenteni a tervezési időt. Ezáltal a módszer nagyszámú drón kezelését is lehetővé teszi.

Prediktív eljárást dolgoztunk ki kvadrokterekkel történő hatékony tehermozgatásra. A kvadrokter egy rúdon elhelyezett kampó segítségével képes tárgyakat teljesen autonóm módon, akár mozgó platformról felemelni, és akár mozgó járműre nagy pontossággal elhelyezni. A módszer előnye, hogy nem igényel bonyolult megfogó szerkezetet (pl. robotkar, elektromágnes), így széles körben használható, könnyen integrálható különböző típusú és fizikai tulajdonságú kvadrokterekre.

Az algoritmus a feladat végrehajtása közben folyamatosan optimalizálja a drón trajektóriáját, figyelembe veszi a modellbizonytalanságokat, alkalmazkodik a külső zavarásokhoz, ezzel garantálva a megbízható működést. Az eljárást az AI-motionLab-ben működő, saját tervezésű Bumblebee drónon implementáltuk.

Adaptív irányítási eljárást fejlesztettünk ki kvadrokterek bizonytalan, változó működési körülmények között is megbízható agilis manőverezésének támogatására. Az eljárás során a kvadrokter fizikai modelljét tanuló komponenssel (Gauss-folyamat) egészítettük ki, amelyet működés közben adatokból hangolunk és a valós drón viselkedéséhez igazítunk. Az így kapott augmentált modellstruktúrára geometriai elvű pályakövető irányítást fejlesztettünk, a kapott rendszer megbízható működésére matematikai garanciákat adtunk.



Gyakorlati alkalmazások vonatkozásában sikeres kutatási tevékenységet végeztünk beragadó kormányfelületek hibájának azonosításában, illetve légi inspekciós megoldást dolgoztunk ki és demonstráltunk ismeretlen földi objektumok detektálására.

KOOPERATÍV JÁRMŰIRÁNYÍTÁS

A földi és légi járműrendszerek együttműködése az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium kutatásainak egyik központi pillére.

Az autonóm rendszerek hatékony működésének kulcsfontosságú eleme a kooperatív és koordinált irányítás. A földi és légi eszközök kooperációs lehetőségeinek kutatásával magas szintű autonómiát biztosítunk mesterséges intelligenciát igénylő, összetett feladatok megoldására. A kooperációban rejlő lehetőségek kiemelten fontosak az autonóm földi közlekedés támogatásában, a védelmi műveletek tervezésében, az infrastrukturális beruházások előkészítésében, a mezőgazdasági hatékonyságnövelésben, illetve a geoinformatikában.

Új biztonságos irányítási eljárásokat dolgoztunk ki a közlekedés emberi résztvevőivel (pl. gyalogosokkal, utasokkal) való interakciók kezelésére városi tesztkörnyezetben. Az úton átkelő gyalogosokkal való interakciót leíró játékelméleti gyalogosmodellt formalizáltunk és valós mérések alapján vizsgáltuk.



Az előzési manőverek biztonságos megvalósításához potenciálmező alapú szituáció-értékelést, gráfes útvonaltervezést, neurális hálózati pályatervezést, robusztus irányítási technikákat alkalmaztunk. Mesterséges intelligencia révén megoldást dolgoztunk ki a vezető aktív támogatására a be nem látott útszakaszokról származó

információk beépítésére a járműirányításba.

Közúti járművek emisszióját is vizsgáltuk nagyméretű forgalmi hálózatokon, szimuláció és HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport) alapú emissziós modellek segítségével. Megvizsgáltuk városi hálózatokon azt, hogy a városon belüli sebességkorlátozás (50 km/h-ról 30 km/h-ra) milyen eredménnyel járna az emisszióra nézve. Habár a sebességcsökkentés a közlekedésbiztonságra egyértelműen pozitív hatást gyakorol, az emisszióra nézve nem minden esetben. A vizsgálat alapján a rövid útszakaszokkal és sok útkereszteződéssel jellemzett városrészek esetén, ahol a forgalom is kicsi (pl. kertváros), a lassítás hatása pozitív, ám a forgalmas útszakaszokon inkább negatív.

A vezető nélküli járművek szoros kooperációja (ún. társ-drón alkalmazása) során a valós idejű információmegosztás, a hatékony gépi érzékelés és a gyors és robusztus optimális mozgástervezés



alapvető jelentőségű. Több drón alkalmazása esetén lehetséges a szenzor redundancia kihasználása oly módon, hogy optikai úton egymás pozícióját – és akár orientációját is – ellenőrizhetik, navigációs probléma esetén pedig kívülről segítséget nyújthatnak egymásnak.

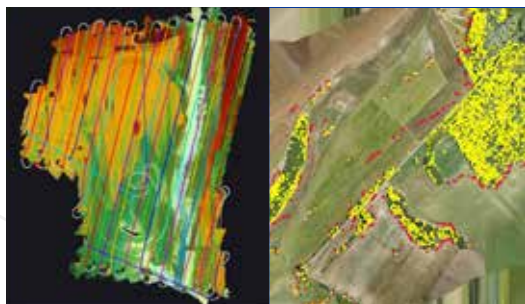
Városi környezetben dolgozó készenléti egységek számára dolgoztuk ki a felderítő drón koncepcióját. A kamerás drón az autó előtt repülve támogatja a mentőegységet, így a járművezető látószöge előtt elrejtett területek előre láthatóvá válnak, és a vezető figyelmeztetést kap a különböző veszélyhelyzetekre.

Tárgyak szállítására, gyártási és logisztikai folyamatok hatékony támogatására földi-légi jármű együttműködést valósítottunk meg. Az együttműködést kialakító autonóm járműhálózat folyamatelemzést



sére és hatékonyságnövelésére optimalizálási eljárást dolgoztunk ki, amely működőképességét éles helyzetben a ZalaZONE Autóipari Próbapályán demonstráltuk.

A pilóta nélküli légi és földi járművek laza kooperációjára kialakítottunk és demonstráltunk egy kooperatív láncot. Közös keretrendszerbe integráltuk a földi és légi perspektívából érkező képek feldolgozását. A légi jármű (UAV) szerepe légi felvétel készítése, járőrözés és felderítés. A felvételeken érzékelt hiányos rekonstrukció teljessé tételére földi járműves útvonaltervezési eljárás-



kat javasoltunk. A földi jármű (UGV) az érdekes pontok (POI), a levegőből be nem látható, takart részek ellenőrzését és elemzését végzi.

Közös keretrendszerben integráltuk a földi és légi perspektívából érkező képek feldolgozását is. Pilóta nélküli légi és földi járművek együttműködésén alapuló, mesterségesintelligencia-módszerekkel támogatott objektum-felismerési feladatra adtunk jól skálázható, gyakorlati megoldást.

A járműkommunikáció (V2X) alapú megoldások teljes körű tesztelése és validálása a jelenlegi mikroszkopikus szimulációs rendszerek számára túl számításigényes, valós időben nem futtatható. Új, innovatív, mezoszkopikus V2X szimulációs megközelítést javasoltunk a járműkommunikáció teljes körű tesztelésére, ami egy neurális háló alapú függvény-approximátor segítségével becsüli a küldött üzenetek mennyiségét és küldési frekvenciáját. Az eljárás kiváltja az akár városi léptékű forgalom mikroszkopikus csomópontjait, úgy, hogy a pontosság maximum 10%-kal tér el az eredeti szimulációtól. A teljes vezérlési folyamat egy szabványos ipari programozható logikai vezérlőn (PLC), alacsony számítási igény mellett megvalósítható.

A rugalmas szoftver segítségével – egy ipari partnerrel együttműködve – új fejlesztéseket indítottunk közúti forgalomfüggő jelzőlámpás irányítás megvalósítására, V2X kommunikációra építve. Mesterséges intelligencia alapú intelligens forgalomirányítás fejlesztésünk elsődleges eredménye egy megerősítéssel tanuló alkalmazó forgalomirányító rendszer sikeres technológiai demonstrációja.

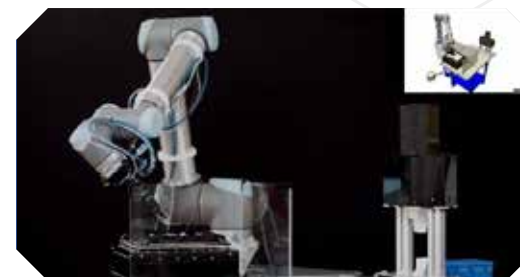
ROBOTIKAI MODELLEZÉS ÉS IRÁNYÍTÁS

Az ipari automatizálás területén az ARNL digitális iker alapú robotrendszereket fejlesztett ki a tárgyfelvételi és -elhelyezési, diagnosztikai és összeszerelési műveletek támogatására, melyek implementációját egy esetben sikerült TRL-9 szintre eljuttatni.

Általánosított megoldást adtunk autonóm robotokkal végzett gyártási és szerelési műveletek sorrendjének valós időben történő tervezésére. Autonóm, digitális ikermodellen alapuló robotikai pick-and-place rendszert fejlesztettünk ki egy olyan általános tervezési munkafolyamattal együtt, amely végrehajtása során egy adott gyártórendszer fizikai megvalósítása és digitális ikermodellje előre adott tűréssel egymásnak megfeleltethető.

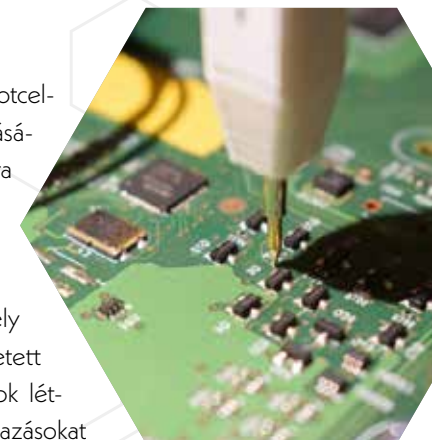
A hibás nyomtatott áramköri elemek robotizált elektronikai mérése és diagnosztikája céljából visual servo alapú aktív visszacsatolást, feature alapú mérési pont betanítási eljárást, és homográfia alapú lokalizációt ötvöztünk önálló adatgyűjtéssel. Autonóm robotos mérőrendszer TRL-9 szintű alkalmazását valósítottuk meg elektronikai termékek tömeges igényű vizsgálatához. Ipari partnerrel együttműködve megoldásunk 5 telephelyen, 3 kontinensen működik üzemszerűen.

Ipari motiváció alapján olyan matematikai programozási modellt és hatékony megoldó algoritmust dolgoztunk ki, amely lehetővé teszi gyártósorok dinamikus (újra)konfigurálását és ütemezését.



Az autonóm robotcellák ipari alkalmazásának támogatására bevezettünk egy új, kiterjesztett technológiai tervformátumot, amely lehetővé teszi összetett diagnosztikai profilok létrehozását. Az elágazásokat a mérési eredmények alapján kódolhatjuk, a diagnosztikai feltárást pedig fókuszálhatjuk, ami csökkenti a mérési időt és növeli a termelési hatékonyságot. A robotos mérőrendszer adatbázis alapú információ- és tudásmegosztással készült, lehetőséget biztosítva a telephelyek közötti mérési technológiák megosztására.

A termelés kiszolgálására hivatott önjáró autonóm robotokból (ARV) álló járműflotta feladatokhoz rendelésére és ütemezésére új módszert dolgoztunk ki, a gyártórendszer-szimuláció, az adatanalítika és gépi tanulás korszerű eszközeinek alkalmazásával. Megterveztük egy kisméretű autonóm egységekből álló szállítójármű flotta elemeit, támogatottak azok hazai gyártását, és integráltuk a járműveket a SZTAKI SmartFactory kiber-fizikai gyártó- és logisztikai rendszerébe. A módszer kísérleti alkalmazása egy világvezető félvezető-gyártó cégnél sikeres volt: úgy tudták csökkenteni a gyártást kiszolgáló ARV-k számát, hogy közben a gyártás kihozatala számottevően javult.





Újragyártásban alkalmazható technológiát dolgoztunk ki és demonstráltunk autonóm robotikai feladatvégzésre, illetve ipari kutatási együttműködésben kifejlesztettük egy akkumulátorgyártásban használt gép digitális ikermodelljét. Elemeztük a folyamatban fellépő zavarok és hibák kiváltó okait, digitális iker segítségével meghatároztuk a megoldással szemben támasztott követelményeket és kiberbiztonsági elvárásokat.

Célunk olyan erőforrás-kombinációk meghatározása volt, amelyek adott termékek, gyártási folyamat-tervek és volumenek mellett a leghatékonyabb termelést biztosítják. Nagy nyelvi modellekkel (LLM) is támogattuk a tervezési scenáriók és a nekik megfelelő bemenetek előállítását, továbbá energiaállapot-modellt kapcsoltunk a folyamathoz.

A gyártás költségének és energiaigényének minimalizálása, az ipar energiaárak változásával szembeni kitettségének csökkentése érdekében kevert egészértékű lineáris programozási technikák és egyedi heurisztikák kombinálásával olyan hatékony és egzakt megoldást dolgoztunk ki, amely magyarázható (explainable) optimalizálást nyújt a döntéshozatal támogatására, és intuitív, grafikus felhasználói interfésszel rendelkezik.

Közös ember-robot szerelő cellát fejlesztettünk ki, és új, ipari gyakorlatban hasznosuló technológiai tervformátumot vezettünk be. A kifejlesztett cella a robotot vezérli és utasításokat küld az operátor számára, továbbá kamerakép alapján ellenőrzi a szerelést, gesztusvezérlést biztosít, és követi a szerelés helyes sorrendjét.

Az interaktív technológiák innovatív alkalmazása segít az operátornak az ütközések elkerülésében a különböző szerelési feladatok során, ami újszerű megközelítés a kobot alapú gyártásban, összeszerelésben. Az operátor időben előre látja a kobot (kollaboratív robot) mozgását, a virtuális ütközést követő jel pedig figyelmezteti, hogy a valódi ütközést elkerülhesse.

Autonóm robotok és emberek együttműködésének támogatására az ember figyelmi szintjét monitorozó eljárást dolgoztunk ki és implementáltunk robotcellás munkaállomás környezetben.

Mobil építőrobot prototípust hoztuk létre, amely autonóm módon, emberi utasítások és távfelügyelet mellett képes a ZalaZONE Járműipari Tesztpályán forgalomtechnikai terelőbóják elhelyezésére. A projekt eredménye a tesztpálya kiszolgáló robot prototípusának TRL 5 szintű megvalósulása. A robotplatform pályakövetési, pozicionálási feladataihoz komplex irányítási rendszert dolgoztunk ki, azt hangoltuk és teszteltük.



INFOKOMMUNIKÁCIÓ

Az ARNL módszertani keretet hozott létre a V2X rendszerek kibertámadásokkal szembeni ellenállóképességének értékelésére, továbbá az elektromos és hibrid járművek akkumulátor-diagnosztikai és prediktív karbantartási módszereit is továbbfejlesztettük.

Átfogó módszertani keretrendszert dolgoztunk ki a V2X-alapú járműfunkciók kibertámadásokkal szembeni ellenállóképességének értékelésére. Számos valós és szimulációs teszt alapján sikerült számszerűsíteni a kommunikációs jellemzők (pl. késleltetés, csomagvesztés) járműbiztonságra gyakorolt hatását, valamint a DoS támadások következményeit. Megoldásainkat sikerrel alkalmaztuk hitelesítési rendszerek elemzésére és az önvezető rendszerek viselkedésének statisztikai értékelésére. Új módszert dolgoztunk ki a járműbiztonság és a V2X-alapú kibertámadások közötti összefüggések elemzésére.

A közlekedési rendszerek kiberbiztonsági védelméhez kapcsolódó kutatásainkban 48 millió scenáriót generáltunk, melyek között 5 millió baleseti helyzet szerepelt, lehetővé téve olyan irányítási stratégiák betanítását, amelyek információhiányos környezetben is biztonságos működést biztosítanak.

Független rádiós irányítást valósítottunk meg, amely kilométeres távolságból is képes a platform alapvető funkcióiba beavatkozni és emberi irányítást biztosítani. Ehhez olyan mesterséges neurális hálózatot terveztünk, amely képes térbeli információk nélkül megbízható becslést adni a kamera látóterében található közúti terelőkúp csúcspontjának helyzetéről.

Járműbe integrálható, cellaszintű akkumulátor-diagnosztikai módszertant fejlesztettünk,

ami különböző elektromos és hibrid járműtípusokon is alkalmazható. A módszer alapja a cellafeszültségek átlagtól való eltérésének vizsgálata, különböző üzemi körülmények között.

A mérések jelentős részét a ZalaZONE tesztpálya különböző moduljain hajtottuk végre. Bebizonyítottuk, hogy a hirtelen gyorsításokat és regeneratív fékezéseket tartalmazó szakaszok generálják a legnagyobb feszültségszórást a cellák között, ez alkalmas gyors állapotfelmérésre.

Módszert dolgoztunk ki a jármű fő egységeinek monitorozására, ezáltal megelőzhetők az esetleges meghibásodások és megvalósítható a „prediktív karbantartás”. Kellő mennyiségű adattal, gépi tanulási algoritmusokat felhasználva azonosíthatjuk a nem megfelelő működést. Ipari igényre az általános módszertan alapján a fékrendszerek elhasználódását és hibáját előrejelző eljárásokat dolgoztunk ki részletesen.

Az autonóm rendszerek társadalmi elfogadottságának növelése céljából, a kritikus helyzetek kezelésére is alkalmas, etikus manőverezést megvalósító irányítást dolgoztunk ki, amely értékeli is





is tartottunk. Innovációs versenyeket is szerveztünk középiskolások és egyetemisták számára. A mesterséges intelligencia módszereinek látványos demonstrálására megoldásokat dolgoztunk ki autonóm járműversenyezésre, melyekkel sikeresen szerepeltünk nemzetközi versenyeken.

A projekt keretében kérdőíves felmérést végeztünk, amelynek célja az emberek vezetéstámogató rendszerekhez való viszonyának vizsgálata volt. A kutatás egyértelműen rámutatott arra is, hogy a társadalom jelenleg nem rendelkezik elegendő ismerettel még az elérhető vezetéstámogató rendszerekről sem, emiatt a különböző fórumokon való megjelenést és az információ népszerűsítő formában történő átadását fontos célkitűzésünknek tettük.

a közlekedési szituációt, és az emberi résztvevők számára is kiszámítható mozgást tervez az autonóm járműre.

Az autonóm rendszerek társadalmi hasznának bemutatására és a lehetőségekhez kapcsolódó figyelemfelhívás céljából demonstrációs napokat



KUTATÁSI INFRASTRUKTÚRA ÉS PLATFORMOK

Az ARNL a piacon elérhető legmodernebb technológiák alkalmazásával fejlett kül- és beltéri, földi és légi járműveket, valamint mobil robotokat befogadó tesztkörnyezeteket épített a kutatási eredmények validálásának támogatására.

Megépítettünk egy kísérleti járműplatformot, amely zárt teszt pályás környezetben kutatási és fejlesztési módszerek és algoritmusok tesztelésére, validációjára és demonstrációjára alkalmas. A megoldás a magasan automatizált jármű egyes szoftverrétegeiben megvalósított tervezési, irányítási és környezetérzékelési kutatási funkciók elemzésére alkalmas. A fejlesztés eredményeként a jármű képes több látványos önvezető funkció bemutatására.

A moduláris keretrendszer és a szimulációs környezet kiváló alapot biztosít a mesterséges intelligenciát felhasználó komplexebb döntési modellek kutatásához és fejlesztéséhez.

A rendszer tartalmazza a szükséges környezet-érzékelő szenzorokat, jármű-dinamikai mérőrend-

szereket és ipari számítógépeket. Kifejlesztettünk továbbá egy SIL (Software-in-the-Loop) rendszert, amely lehetővé teszi az algoritmusok laboratóriumi tesztelését, valamint egy VIL (Vehicle-in-the-Loop) rendszert a tesztek virtuális környezetének létrehozásához.

A fejlesztés eredményeként a jármű több látványos önvezető funkció bemutatására képes. Az automatizált parkolásszisztéma alkalmazásával egy parkolóban képes magától közlekedni és leparkolni. Egy okostelefonos alkalmazással az autó elindul, és biztonságosan visszavigyél a tulajdonoshoz. A ZalaZONE teszt pályán a jármű képes szabályosan közlekedni a városi úthálózaton, és reagálni a környezeti elemekre (pl. táblák, akadályok).

A demonstrációk jelentős társadalmi hatást értek el, köszönhetően a modern és attraktív technológiának, ami főként a pályorientációban, a járműipari fejlesztő- és kutató-mérnöki mesterszak népszerűsítésében nyilvánult meg.

Az autonóm járműirányítási módszerek elemzésére, fejlesztésére és tesztelésére kiterjesztett valóság alapú keretrendszert dolgoztunk ki.



A valós jármű környezetét virtuális elemekkel – így kereszteződésekkel, körforgalmakkal, sávokkal, további járművekkel, gyalogosokkal, közlekedési táblákkal, sőt a valós képnek megfelelően fákkal, mezőkkel – egészítjük ki. Ebben a környezetben egy adott jármű mozgása a teljes forgalmi helyzetben vizsgálható, továbbá az egymással együttműködő kooperatív járműirányítás is elemezhetővé válik.



Head-up display (HUD) rendszerek szellemképmentes látószögének megnövelésére módszert dolgoztunk ki. Kísérletileg igazoltuk, hogy a reflektív vékonyréteget alkalmazó HUD rendszerek szellemképmentes látószögének megnövelésére javasolt, pontonként változó polarizációjú polárszűrővel akár a szélvédő teljes felülete alkalmassá tehető színes kép megjelenítésére.

A kiterjesztettség-funkciók kialakításával a nézőpontfüggő tesztelésre kísérleti rendszert dolgoztunk ki városi szabad vezetést szimuláló felhasználói környezetben. A fejlesztés során elkészült a kamerás szemkövető rendszer, a ráfutásfigyelmeztető és a gyalogos detekció funkciók, továbbá megkezdődött a kijelzett információk ergonómiai optimalizálása.

Létrehoztunk egy beltéri demonstrációs és teszt-környezetet, az ún. AIMotionLab-et, melyben a kooperatív robotikai feladatok megoldására kidolgozott pályatervezési és irányítási algorit-

musok valós rendszereken tesztelhetők, illetve validálhatók.

Egyedi beltéri drónt (Bumblebee) terveztünk és építettünk az AiMotionLab drón-arénában végzett kísérletek teljes körű kontrollálhatósága érdekében. Emellett F1TENTH autókkal tudunk kísérleteket végezni, a további robotok integrációja pedig a kidolgozott interfészeknek köszönhetően egyszerűen megtehető.

A valós környezet mellett létrehoztuk a teszt-környezet digitális ikermmodelljét MuJoCo fizikai szimulátorban – ez az AIMotionLab-Virtual, melyben valamennyi drón ikermmodellje megtalálható. A két rendszert úgy alakítottuk ki, hogy képesek legyenek együttműködni, így kiterjesztett virtuális valóság hozható létre melyben valós és virtuális drónok egy közös térben működtethetők.

Kutatás és fejlesztés történt ipari szintű, gyorsan iterálható dróntechnológiai képességek kiépítésére demonstrációs fókuszokkal. Egyedi robotpilótát, autonóm fedélzeti vezérlőrendszert (hw + sw) terveztünk, fejlesztettünk és teszteltünk földi, légi és vízi járművek számára.



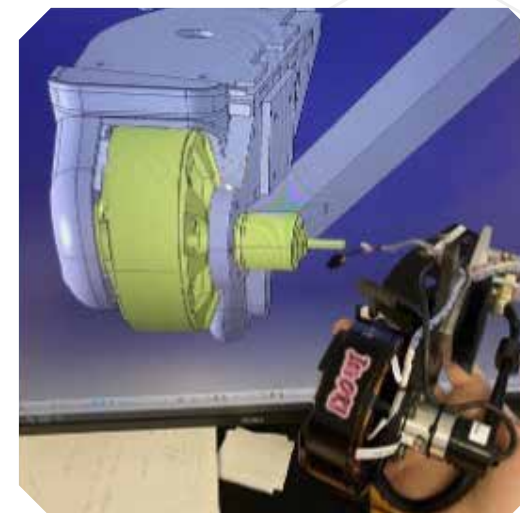
Egyedi aktuátorokat is fejlesztettünk egy ipari projekthez hozzájárulva, valamint egyedi, merevszárnyas drónokhoz készült robotpilótát hoztunk létre fejlett HIL-keretrendszerrel és MATLAB/Simulink alapú automatikus kódgenerálással.

Ipari partnerrel kooperációban elvégeztük a hagyományostól merőben eltérő, függőleges fel- és leszállás (VTOL) képességgel rendelkező, „tailsitter” elrendezésű drónok VTR Hornet fedélzeti szabályozó rendszerének finomhangolását. A fejlesztés legfontosabb célja a repülési

tesztek analízisének támogatása, továbbá hibadetektálási módszerek alkalmazásának vizsgálata valós repülési tesztek során.

A saját fejlesztésű aktuátor a repülés közbeni aktív flutter csillapítás területén ért el áttörést. Laboratóriumi és repülési kísérletek alapján a rendszer – a világon egyedülálló módon – képes pontos pozíciókövetésre és stabil működésre a kritikus frekvencia-tartományban is.

A hidrogén üzemanyagcellás hajtás a dróntechnológia kulcsfontosságú áttörése lehet, mivel hosszú repülési időt és kibocsátásmentes működést tesz lehetővé. A kutatás közvetlenül illeszkedik az európai zöld átállási célkitűzésekhez és a fenntartható légi mobilitás trendjeihez. A kutatás





során az üzemanyagcella dinamikáját vizsgáltuk: matematikai modellt alkottunk, amely figyelembe veszi a terhelés, a hőmérséklet és a repülési profil hatásait. Ez a modell az üzemanyag-optimalis útvonaltervezési algoritmusok alapja, amelyek célja a hidrogénfogyasztás minimalizálása és a repülési hatótáv maximalizálása.

Komplex adatmenedzsment-rendszert valósítottunk meg, amely a HUN-REN Cloud infrastruktúrán biztosítja a nagyméretű és heterogén kutatási adatok kezelését. A platform célja az adatok teljes életciklusának támogatása: a bel- és kültéri szenzorhálózatokból történő adatgyűjtéstől kezdve az adatfolyamok valós idejű előfeldolgozásán, transzformációján át egészen a hosszú távú tárolásig, vizualizációig és elemzésig.

Az adatmenedzsment kulcsa a dinamikus skálázható, konténerizált szolgáltatások és virtuális gépek használata, amelyek biztosítják a rendszer megbízható működését és bővíthetőségét. A kialakított környezet nemcsak az adatok biztonságos és hatékony menedzsmentjét teszi lehetővé, hanem azok alapján döntéstámogatást és szükség esetén aktív beavatkozást is.

A ZalaZONE autóipari tesztpályán permanens GNSS állomást építettünk ki és integráltuk az Európai Permanens Állomáshálózatba, így mások is

szabadon használhatják az állomás adatait például geodéziai vonatkoztatási rendszer fenntartása és a lemez-tektonikai folyamatok monitorozása érdekében. Ezek mellett környezeti távérzékelési alkalmazásokhoz (pl. légköri nedvességtartalom, ionoszféra állapota) is felhasználjuk a mérési eredményeket.

Mobil térképezésből származó adatok alapján létrehoztuk a ZalaZONE Park felmért pályaelemeinek MathWorks® RoadRunner modelljeit. A munka során több olyan modellkészletet is kidolgoztunk, amelyek alkalmasak a hazai utak és környezetük precíz és valósághű modellezésére, továbbá lehetővé teszik a fejlesztést és tesztelést dinamikus, városi környezetben. A Mathworks® fejlesztőmérnökeivel együttműködésben kialakított modellek mára elérhetők a MATLAB felhasználói számára.



UTÁNPÓTLÁSNEVELÉS

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium a projekt teljes időtartama alatt kiemelt stratégiai célként kezelte az utánpótlás-nevelést, felismerve, hogy a hazai autonóm technológiák hosszú távú versenyképessége elsősorban a jól képzett, motivált fiatal szakembereken múlik. A projekt során a hallgatók már korai fázisban bekapcsolódhattak éles kutatási-fejlesztési feladatokba, megismerkedve az autonóm járművek, robotikai rendszerek, mesterséges intelligencia-alapú irányítás és szenzorfüzió legkorszerűbb módszereivel.

A mentorált kutatói munka és a projektfeladatokba való bekapcsolódás lehetőséget teremtettek arra, hogy a résztvevők ne csak elméleti tudást szerezzenek, hanem projektalapú gondolkodást, csapatmunkát és innovációs szemléletet is elsajátítsanak.



Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium által rendezett, valamint a támogatásával és kutatói-fejlesztői részvételével megvalósult események nemcsak a tudományos ismeretek átadását szolgálták, hanem aktívan ösztönözték a diákokat a műszaki, mérnöki és kutatói pályák felé – közvetlenül hozzájárulva az autonóm rendszerek területére való utánpótlás neveléséhez, motiválásához és a fiatal tehetségek bevonásához a hazai innovációs ökoszisztémába.

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratóriuma az utánpótlás-nevelés erősítése érdekében az alábbi, kiemelt pályorientációs, ismeretterjesztő és tehetséggondozó eseményeken vett részt:

Az ARNL társszervezésében megvalósult REFORMula Challenge Innovációs Verseny záróeseményét 2025. május 30–31-én rendezték meg Mátraházán, amelyen közel 50 középiskolás diák vett részt. Ez az esemény jelentős szerepet játszott abban, hogy a fiatalok aktívan kipróbálhatták



kreatív problémamegoldó képességeiket autonóm rendszerekre épülő mérnöki feladatokon keresztül.

Az ARNL kutatói és fejlesztői részt vettek a BME „Lányok Napja” rendezvényén, ahol a járműmérnöki szak és a laboratórium autonóm járműplatformja iránt érdeklődő fiatalok gyakorlati aktivitások keretében ismerkedhettek meg a területtel. Ez különösen fontos lépés volt az innovációs pályák nemek közötti egyenlőségének előmozdításában.

2025 áprilisában az ARNL kutatói „Mesterséges intelligencia és autonóm járművek” témában tartottak előadást a pályaaorientációs napon a Pécsi Református Kollégium Gimnáziumában, ahol kö-

zépiskolás diákoknak mutatták be a laboratórium munkáját, inspirálva őket a műszaki és kutatói pályára irányába.

Az utánpótlás-nevelési program eredményeként jelentősen bővült a területen jártas fiatal kutatók és mérnökök köre, többen közülük diplomamunkájukat, doktori kutatásukat vagy későbbi pályafutásukat is a laboratóriumhoz kötve folytatták. A projekt így nemcsak tudományos és technológiai eredményeket hozott, hanem fenntartható módon hozzájárult egy erős, jövőorientált szakmai közösség kialakításához is, amely hosszú távon szolgálja a magyar autonóm rendszerek fejlődését.



JÖVŐKÉP ÉS KUTATÁSI IRÁNYOK

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium erősségeire, a jelen szakmai beszámolóban is bemutatott eredményekre építve, és azokat a state-of-the-art nemzetközi trendekkel összekapcsolva négy konkrét, hasznosítható, jövőbeli kutatási irányt azonosítottunk. Ezek rövid leírása bemutatja, hogy mit tervezünk kutatni, miért illik a téma az ARNL-hez, hogyan közelítjük meg a problémát, melyek a siker mutatói, és kik a potenciális partnerek.

Járműirányítás és identifikáció

Az adatvezérelt és a modell alapú irányítások összekapcsolásával elért eredmények továbbfejlesztését, a valós idejű modell-adaptációt célozzuk meg autonóm földi és légi járművekre online megerősítéssel tanulás segítségével, javítva a stabilitást és a teljesítményt, változó dinamikai hatások (terhelés, gumiabroncskopás, szél stb.) mellett. A megközelítés hídát képezi a nemlineáris dinamikai modellezés és a lineáris irányítástervezés között.

Online identifikációs eljárásokat fejlesztünk (érzékelő → jellemző-kiemelés → inkrementális operátorfrissítés), és ezeket a Model Predictive Control (MPC) / felügyeleti irányítási struktúrára integráljuk az ARNL digitális-keretrendszerében, végül az eredményeket Hardware-in-the-Loop környezetben (laboratóriumi, közúti és légi tesztjárműveken) validáljuk. Biztonsági szabályozó körök alkalmazásával ez a megközelítés statisztikai garanciákat ad még zajos környezetben is. Célunk 30-50%-kal gyorsabb modelladaptáció dinamikus zavarok esetén, a pályakövetési hiba változatlan szinten tartása mellett.

Ezekkel az eredményekkel – a neves külföldi egyetemeken és kutatóintézetekben működő irányításelméleti kutatócsoportokkal való együtt-

működésen túl – járműipari OEM-ekben felmerülő tudományos igényű feladatok megoldásában vállalhatunk szerepet.



Szenzorfüzió hiányos adatok esetén

Az ARNL sikeres szenzorfüziós munkájára építve olyan robusztus érzékelési eljárásokat tervezünk létrehozni, amelyek képesek kezelni a ritka és hiányos szkenneléseket, a zavarokat és hamis észleléseket, valamint az ellenséges szándékú jeleket – mindez kritikus fontosságú a nagy sebességű pozíciómeghatározás, a földi és légi trajektórián való mozgás és járműkövetés, valamint az AV-biztonság szempontjából.

Kutatásokat tervezünk a differenciálható részecske- és gráfszűrők, a végponttól végpontig terjedő füziós hálózatok szintetikus + valós radar / kamera / LiDAR adatokkal történő betanítása, továbbá a Bayes-féle bizonytalansági becslések tervezési folyamatba integrálása területén. Célunk a detektálási / követési pontosság javítása ritka adatoknál, a késleltetés hatásának csökkentése és robusztusság biztosítása takarás / téves mérések esetén.

Az aktívan kutatott témakör és az ARNL nemzetközi szinten is egyedülálló hozzáférése a ZalaZONE tesztpályához kiemelkedő lehetőséget kínál számunkra nemzetközi láthatóságunk növelésére, az ARNL pozícionálására globális „Open Science” közreműködőként. Ennek feltétele egy nyilvános adathalmaz közzététele a HUN-REN Cloudon keresztül (a környezeti és időjárási metaadatokkal együtt), valamint benchmark gépi tanulási modellek és kiértékelő szkriptek kidolgozása.

Az eredmények hasznosítása mind a szenzorgyártó, mind az autópipari beszállító vállalatok számára fontos lehet, az együttműködés a külföldi, számítógépes érzékeléssel és látással foglalkozó kutatólaborokkal pedig további nemzetközi beágyazódásunkat segíti elő.

Kooperatív rendszerek irányítása és biztonsága

Elsődleges célkitűzésünk a kooperatív módon, megbízhatóan és biztonságosan működő földi és légi járművek integrálása a hagyományos közlekedési, biztonsági és fenntarthatósági megoldásokhoz. Ez a megközelítés növeli a forgalom hatékonyságát és biztonságát, mindeközben jelentősen mérsékli az emberi hibák hatását.

További célkitűzés az ARNL neurális hálózaton alapuló mezoszkopikus V2X kommunikáción alapuló szimulátorának kiterjesztése a kibertámadásokkal (DoS, hamisítás, üzenetvesztés) szembeni ellenállóképesség elemzésének támogatására, valós idejű, városi szintű tesztelési platform létrehozása a mesterséges intelligencia alapú forgalomirányításhoz és biztonsági értékeléshez.

A nemzetközi szervezetek (pl. EU CCAM, ETSI ITS-G5) az ún. „tervezett kiberbiztonságra” (cybersecurity-by-design) fókuszálnak, és az ARNL – a ZalaZONE infrastruktúra segítségével – vezető szerepet tölthet be egy skálázható, gépi tanuláson alapuló tesztkörnyezet biztosításával.

Szeretnénk elérni, hogy a szimulátor városi léptékben kvázi-valós időben fusson, és a forgalomirányítás akkor tekinthető megbízhatónak, ha mérsékelt támadási intenzitás mellett a biztonság csökkenése kevesebb mint 5%-os.

A nemzetközi pozícionálás érdekében tervezük irányításelméleti és járműipari konferenciák szervezését, valamint aktív részvételt a Horizon Europe mellett a CCAM konzorciumban. A kooperatív rendszerek fenti témáival a járműipari OEM-ek felé is újabb kaput nyitunk.

Biztonságos humán-robot interakció

A legújabb tanulmányok szerint az autonóm rendszerek elterjedésének fő akadálya a társadalmi elfogadottság alacsony szintje (a bizalom hiánya), ezért bővíteni tervezzük a humán-robot együttműködéssel (pl. etikus manőverezés, gyalogos interakció, robotizált gyártás) kapcsolatos kutatásainkat a társadalmilag elfogadható, megmagyarázható döntési modulok és az emberközpontú interfészek (Head-Up-Display, Augmented Reality) irányába.

Célunk kombinálni a felhasználói tanulmányokban tesztelt játékelméleti gyalogos modelleket, a szándékon alapuló következtetést és az értelmezhető döntési összefoglalókat (HUD / AR), beépíteni ZalaZONE városi forgatókönyvekbe, és mérni a viselkedésbeli változásokat. A szociológiai és

pszichológiai értelemben releváns módon mért bizalom / elfogadás javulását szeretnénk elérni, csökkentett vészhelyzeti beavatkozások mellett. Partnereink lehetnek a városi közlekedési hatóságok, valamint az emberi tényezőkkel foglalkozó nemzetközi kutatócsoportok.

A terület ígéretes és stratégiaileg koherens kiterjesztéseként terveink szerint elindítunk egy „humanoid interakció és irányítás” programot, amely a humanoid és négylábú robotok mesterséges intelligenciával történő irányítására, érzékelésére és szimulációjára összpontosít, integrálva az AI-MotionLab digitálisiker-rendszerébe, fókuszban a biztonságos ember-robot együttműködéssel.

Elképzelésünk szerint az ARNL idővel az európai humanoid kezdeményezések meghatározó szereplőjévé pozícionálhatja magát – anélkül, hogy hardvert (teljes robotokat) kellene gyártania.



AZ AUTONÓM RENDSZEREK NEMZETI LABORATÓRIUM VEZETÉSE



Dr. Gáspár Péter
projekt szakmai vezető
HUN-REN SZTAKI



Dr. Szalay Zsolt
intézményi szakmai vezető,
BME



Dr. Szauter Ferenc
intézményi szakmai vezető,
SZE



Dr. Váncza József
kutatás-fejlesztési vezető



Dr. Vanek Bálint
kutatás-fejlesztési vezető



Dr. Bécsi Tamás
kutatás-fejlesztési vezető



Dr. Pup Dániel
kutatás-fejlesztési vezető

KOORDINÁCIÓ



Fábíán Zsófia
HUN-REN SZTAKI



Bai Veronika
HUN-REN SZTAKI



Martin-Galamb Veronika
HUN-REN SZTAKI



Bertalan Erika
HUN-REN SZTAKI



Kozsdáné Varga Katalin
BME



Peterka Mária
SZE





AUTONÓM RENDSZEREK

Nemzeti Laboratórium

AUTONÓM RENDSZEREK NEMZETI LABORATÓRIUM

1111 Budapest, Kende u. 13-17.

autonom@nemzetilabor.hu

<https://autonom.nemzetilabor.hu>

ISBN 978-963-311-376-9



9 789633 113769 >