

Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet

H-1111 Budapest, Kende u. 13-17, 1518 Budapest, Pf. 63.

tel: 279-6159, e-mail: monostori.laszlo@sztaki.hu

<http://www.sztaki.hu/>

Beszámoló a SZTAKI 2019-es tevékenységéről

Budapest, 2020. február.

TARTALOM

- I. A kutatóhely fő feladatai 2019-ben
- II. A 2019-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények
 - a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények
 - b) Tudomány és társadalom
- III. A kutatóhely hazai és nemzetközi K+F kapcsolatai
- IV. A 2019-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása
- V. A 2019-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

I. A kutatóhely fő feladatai a 2019-ben

Az intézet 2016-ban megfogalmazott küldetése szerint „erős – és jellemzően célzott – alap kutatási tevékenységre támaszkodva, széleskörű hazai és nemzetközi együttműködések keretében hoz létre új eredményeket, és támogatja azok alkalmazását a gazdaság és a társadalom fenntartható fejlődésének érdekében, ugyanakkor működési területén segít megőrizni és lehetőség szerint magasabb szintre emelni a hazai tudományos-műszaki kultúrát”.

2019-es céljaik a fenti küldetés és a „*Kiválóság a tudomány és az innováció területén*” jelmondatuk értelmében kerültek megfogalmazásra és megvalósításra. Újabb *alapkutatási projekteket* nyertek el, 213 publikációt jelentettek meg, amelyekből 65-öt impakt faktoralal rendelkező folyóiratban. A cikkek közül – amelyek összesített impakt faktora 169,619 – 46 tartozik a Q1-es és belőlük 21 a D1-es kategóriába. Kiemelkedő nemzetközi tudományos konferenciák rendezési jogát nyerték el.

Innovációs tevékenységüket tovább erősítették, elsősorban a német *Fraunhofer Társasággal* 2018-ban, SZTAKI-s többségi tulajdonnal alapított *EPIC InnoLabs Nonprofit Kft.* révén, mely már a tengerentúlra is kiterjesztette működési körét.

Három új *szabadalmuk* került publikálásra, korábbi szabadalmaik közül 7 került megújításra, némelyik több országban is. Változatlanul vezető szerepet játszanak az Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform Szövetségben és alapító, aktív tagjai az 5G-, illetve a Mesterséges Intelligencia Koalíciónak. A hazai ipar jobb elérése érdekében Győrben és Kecskeméten is működtetnek telephelyet.

Jelenlegi tevékenységük fő iránya a *kiber-fizikai rendszerek (Cyber-Physical Systems, CPS)*. A kiber-fizikai rendszerekkel szembeni támasztott elvárások már most hatalmasak, és az újonnan megjelenő technológiákkal gyors ütemben bővülnek: robusztusság, önszerveződés, adaptív helyzetfelismerés, transzparencia, előreláthatóság, hatékonyság, interoperabilitás, globális nyomon követhetőség; csak a legfontosabbakat említve. A kooperatív irányítás, a multi-ágens rendszerek, a komplex adaptív rendszerek, az emergens (kibontakozó) rendszerek, a szenzorhálózatok, az adatbányászat, stb. területén elért kiemelkedő eredmények további jelentős előrelépések iránti várakozást generálnak, folyamatossá téve így a kutatás iránti igényt.

II. A 2019-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

A következőkben az intézet négy alap kutatási főirányának (számítástudomány, mesterséges intelligencia, gépi tanulás; rendszer- és irányításmélelet; mérnöki és üzleti intelligencia; gépi érzékelés és interakció) bemutatása mellett öt alfejezet taglalja a járműipar és közlekedés; a termelésinformatika és logisztika; az energetika és fenntartható fejlődés; az orvosi, biológiai, mezőgazdasági alkalmazások; valamint a hálózatok, az elosztott számítások, a jövő internete témakörökben elért alkalmazásorientált eredményeiket.

ALAPKUTATÁSI FŐIRÁNYOK

Számítástudomány, mesterséges intelligencia, gépi tanulás

Számítástudományi kutatásaik kiemelt célja a mesterséges intelligencia matematikai elméletének és a gépi tanulás gyakorlatának kutatása. Mesterséges intelligenciával kapcsolatos alap- és alkalmazott kutatásuk jellemzője a matematikusi és mérnöki munka együttélése: a kutatás alapvetően kísérleti jellegű, ugyanakkor az adatok óriási mérete miatt az eljárások mély algoritmuselméleti és valószínűségszámítási ismereteken, matematikailag bizonyítható alapokon kell, hogy álljanak.

A beszámolási időszakban elért főbb eredményeik:

- Elsőként mutattak éles alsó korlátot arra, hogy a gráf felületekre történő beágyazhatóságát leíró gráfgenusz értéke hogyan befolyásolja egyes algoritmikus problémák (pl. a többterminális szeparálás vagy a síkbarajzoláshoz szükséges minimális felvágás meghatározása) komplexitását. Az eredmény a rangos International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2019) konferencián Best Paper díjat nyert.
- Vizsgálták, hogy egyes rögzített H gráfok feszített részgráfként történő kizárása esetén lehetségesek-e szubexponenciális algoritmusok különböző alapvető gráfelméleti problémákra. További eredmények mellett teljes jellemezőjét adták azon H gráfoknak, amelyek kizárása esetén létezik az input méretében szubexponenciális algoritmus maximális méretű, egymástól adott távolságú pontthalmaz keresésére.
- A kvadratikusan alakok együttes izometriájára vonatkozó korábbi algoritmikus eredményeiket kiterjesztették valós, illetve komplex mátrixokra, utat nyitva ezzel a numerikus alkalmazások (ezen belül például a kvantummechanikai problémák) felé.
- Az $NG(q,4)$ projektív normagráf vizsgálatában értek el új eredményeket. Ismert, hogy ez a gráf nem tartalmaz $K(4,7)$ teljes páros részgráfot. Korábbi eredményeikre támaszkodva megmutatták, hogy a gráf algebrai számtestek feletti (tehát végtelen) változata is tartalmazhat ugyanakkor $K(4,6)$ részgráfot. A munkában algebrai számelméleti módszereket is alkalmaztak. Vizsgálták ebben a tágabb környezetben az általuk talált Singer típusú differenciahalmazokat is.
- Foglalkoztak a megelőző kutatásaikban fontos szerepet játszó ún. explicit izomorfizmusprobléma lehetséges kriptográfiai alkalmazásaival. Olyan algoritmikus kérdéseket szeretnének találni ezen a területen, amelyekre érdekes nulla ismeretű (zero knowledge) protokollok adhatók, másrészt algoritmikus bonyolultság tekintetében nehezebbek az ismert és széles körben felhasznált példáknál, ezáltal részben kiválthatják az utóbbiakat. Ebben az irányban kezdeti eredményeik vannak. Egy kapcsolódó kérdés vizsgálata során új, a korábbiaknál lényegesen hatékonyabb algoritmust adtak háromváltozós, homogén másodfokú egyenletek kvadratikusan számtestekben való megoldására.
- Igazolták, hogy a nem teljesen kitöltött páros összehasonlítás mátrix összes feszítőfájából számolt súlyvektorok mértani közepe a logaritmus legkisebb négyzetes feladat optimális megoldása
- Megadták a páros összehasonlítás mátrixokra alkalmazott logaritmus legkisebb négyzetek rangsorolási módszer egy axiomatikus karakterizációját. Ennek értelmében bármely más jól viselkedő módszer használata egy triádokon (3×3 -as almátrixokon) végzett transzformációra vonatkozó invariancia megsértésével járhat, így annak magyarázatát igényli.
- Új módszert mutattak be inkonzisztens páros összehasonlítás mátrix konzisztens mátrixokkal való közelítésére maximum normában. A módszer egy logaritmus transzformáció után speciális hálózati feladatok megoldására vezet vissza az eljárást.

Számítástudományi kutatásaikat jórészt *ERC Consolidator Grant* és *MTA Lendület* támogatással végezték. Alapkutatási eredményeikre támaszkodó kutatás-fejlesztési tevékenységük kiemelkedő ipari partnerei az Ericsson Magyarország, az OTP Bank, és a Bosch.

Rendszer- és irányításelemélet

Az alapkutatások fő tématerületei a modellezés, modellredukció és -identifikáció, az adaptív, robusztus, valamint az elosztott és hálózatba kapcsolt rendszerek irányítása.

- *A jelfeldolgozási és rendszeridentifikációs* kutatásokban új eredményeket értek el a modellredukció területén. Hibakorlátokat adtak a közelítés pontosságára mind a H_2 , mind pedig a H -végtelen esetekben a bizonytalan pólusok hiperbolikus távolságának

függvényében, valamint egy, csak ezt az információt használó modellredukciós stratégiát dolgoztak ki. A flexibilis repülőgépek dinamikai viselkedését, valamint hasonló jellegű mérnöki objektumokat leíró igen nagy dimenziós LPV (Linear Parameter Varying) és qLPV (quasi Linear Parameter Varying) rendszerek modális dekompozíción alapuló és az állapotok konzisztenciáját megőrző modellredukciós eljárásaiban alkalmazható hatékony algoritmusokat fejlesztettek ki.

- Kutatásokat végeztek a *geometriai módszer* globális (input-output) alkalmazási lehetőségeinek feltárására, rávilágítva a robusztus irányítástervezési eljárások közös geometriai hátterére. A Klein-féle megközelítés geometriai szemléletéből kiindulva megmutatták, hogy bizonyos hiperbolikus terek transzformációi közös hátteret adnak a robusztus feladatok kezelésére, és feltárták a stabilizáló halmazon, illetve az adott performanciaszinthez tartozó összes stabilizáló szabályozót leíró halmazon értelmezhető, az adott tulajdonságot invariánsan hagyó művelet, illetve műveletcsoportok rendszerelméleti tulajdonságait.
- A Youla parametrizálással ellentétben *koordinátáfüggetlen, geometriai alapú paraméterezést* vezettek be csoportelméleti megközelítésben, amelyek megőrzik a Youla parametrizálás számos előnyös tulajdonságát. Bevezették a rendszer gyökének fogalmát és feltételeket adtak annak létezésére. Nemlineáris rendszerek irányításméleti problémáihoz kapcsolódva az LPV és qLPV modelleket alkalmazó robusztus tervezés során felmerülő kérdések kutatása terén kimutatták, hogy az unimoduláris mátrixok által meghatározott Möbius-transzformációk megőrzik a zárt hurok belső stabilitását és explicit képletet is adtak a transzformált hurok realizációjára.
- *A hibadetektálás és a nulltér alapú strukturális rekonfiguráció* terén bemutatták, hogy az átkapcsolást végző, rekonfigurációs irányítástervezési eljárások hogyan alkalmazhatók hibátűrő irányítások tervezésére és a rendszerek minőségi követelményeinek garantált kielégítésére. Hatékony, invariáns altereken alapuló algoritmusokat fejlesztettek ki LPV rendszerek nulltereit generáló dinamikus szűrők meghatározására.
- Az elmúlt időszak fontos új kutatási területe a *gépi tanulásra* és hatékony számítási valamint optimalizálási módszerekre épülő modern irányítási módszerek kidolgozása volt. A cél a klasszikus szabályozótervezési eljárások kiegészítése, tanuló struktúrákkal való kombinálása annak érdekében, hogy komplex irányítási feladatok egyszerűbben megoldhatókká, a számításigényes irányítások pedig valós időben implementálhatóvá váljanak.
- Temporal logic formalizmust alkalmaztak az *összetett performancia követelmények, illetve korlátozások* megfogalmazására. Az így kapott irányítástervezési feladat lineáris, illetve nemlineáris kevert egészértékű (mixed integer) optimalizálásra vezethető vissza, melynek hatékony, modern számítási módszerekre épülő numerikus megoldása szintén részét képezte az elmúlt időszak kutatási eredményeinek. Az új, hatékony számítási módszereket nemcsak szabályozótervezésre, hanem nemlineáris rendszerek analizésére is sikeresen alkalmazták.
- Eljárást dolgoztak ki polinomiális és racionális nemlineáris rendszerek *stabilitásvizsgálatára*, a stabilitást igazoló Lyapunov-függvény és stabilitási tartomány előállítására. A módszer a feladatot nemlineáris mátrixegyenlőtlenségek megoldására vezeti vissza, melyre nulltér alapú relaxációt alkalmazva azt egy konvex optimalizálási feladatra redukálja. Számos más módszerrel összehasonlítva, az eljárás hatékonynak bizonyult, mind számítási komplexitás, mind a kapott eredmény (a stabilitási tartományra vonatkozó becslés) pontosságát illetően. A módszert kiterjesztették nemlineáris rendszer indukált L2 normájának becslésére és sikerrel alkalmazták a rendszer disszipatív és passzív tulajdonságának vizsgálatára és passzivitást biztosító bemenet/kimenet párok konstrukciójára is.

A rendszer- és irányításméleti eredmények elsődleges felhasználói az energia-, jármű- és közlekedéssipar. Az ipari partnerek (Airbus, Bosch, Knorr-Bremse) bevonásával végzett európai és nemzeti kutatási projektekben az elméleti eredmények gyakorlati alkalmazhatóságát szem előtt tartva folytattak kutatási tevékenységet.

Mérnöki és üzleti intelligencia

A negyedik ipari forradalomnak tartott ún. Ipar4.0 folyamat során anyag, energia, információs és pénzügyi folyamatokkal rendkívül sűrűn, immár elválaszthatatlanul összekötött, ugyanakkor saját autonómiával rendelkező elemekből álló kiber-fizikai termelési rendszerek jönnek létre. E rendszerek hatása a társadalmi és természeti környezetre olyan jelentős, hogy működtetésükkor a hatékonyság és a fenntarthatóság – jellemzően ellentétes – szempontjait együttesen kell tekintetbe venni. A kutatás így multidiszciplináris apparátust és megközelítést követel meg. A beszámolási időszakban elért eredményeik közül a következők emelendők ki:

- Az egygépes, nem-megújuló erőforrásos *ütemezési problémára* a súlyozott befejezési idő célfüggvény mellett új approximációs algoritmusokat adtak többféle speciális esetre.
- A párhuzamos gépes összes késői munka minimalizálására, az összes korai munka maximalizálására, és az erőforrás kiegyenlítési problémára egy közös, a problémák közötti ekvivalenciák felismerésén alapuló approximációs algoritmus sémát dolgoztak ki.
- Egygépes ütemezési probléma olyan megfogalmazását és egzakt megoldási módszerét adták meg, ami bizonytalansággal terhelt feldolgozási idők mellett minimalizálja az esetleges késésekből eredő károk kockázatát.
- *Az erőforrás hozzárendelési problémának* arra a változatára, ahol a tevékenységek hossza nem fix, hanem a hozzá rendelt erőforrás mennyiségétől függően egy alsó és egy felső korlát között változhat, új egészértékű programozáson alapuló modellt, valamint vágósíkokat dolgoztak ki, és ezek segítségével a korábbiaknál lényegesen jobb számítási eredményeket értek el.
- *A gépészeti összeszerelés tervezésében* általános (nem körmentes) gráfhoz fejlesztettek ki új matematikai modellt, és kiterjesztették a korábban kidolgozott logikai Benders dekompozíciós eljárást az új modellre. Az eljárás sikeréhez részben új geometriai következtetési eljárásokra, részben pedig az azokból eredő diszjunktív vágások hatékony kezelésére volt szükség.
- Nemzetközi kutatócsoportokkal együttműködve felmérték a mechanikus összeszerelési feladatok megoldásra jelenleg alkalmas *ember-robot együttműködést* támogató technológiákat, az ezekkel szemben megfogalmazott szabványokat és ezek korlátait.
- Kidolgoztak egy *eloszlásfüggetlen, adatvezérelt keretrendszert* kernel módszerekkel (pl. szupport vektor gépekkel) konstruált regressziós modellek bizonytalanságának kiértékelésére. A mérési hibák egy adott gyenge regularitását kihasználva – mint amilyen a szimmetria vagy a felcserélhetőség – a módszer erős nem-aszimptotikus garanciákkal rendelkező tartománybecsléseket tud készíteni az adatokat generáló rendszert legjobban közelítő, ideális reprezentációhoz.
- Markov dinamikájú rendszereken működő *sztochasztikus approximációs módszerekkel* kapcsolatban megvizsgálták, hogy miként viselkednek a témakör szempontjából alapvető fontosságú Poisson-egyenlet megoldásai egy paraméteres Markov-lánc család esetén. Meghatározták azon feltételeket, melyek mellett egyértelműen létezik megoldása az egyenletnek, illetve, a kapott megoldás Lipschitz folytonos a Markov-lánc család paramétereinek függvényében.
- *Bináris klasszifikációs feladatok* bizonytalanságának kvantifikálását vizsgálva kidolgoztak három kernel alapú újramintavételezést használó algoritmust. Általános feltételek mellett mindhárom algoritmus egzakt tartományokat konstruál, amelyek erősen

konzisztensek, azaz hosszútávon egy valószínűséggel nem tartalmaznak "rossz" (nem az adatokat generáló) regressziós függvényeket.

- Az autonóm targoncák irányítására korábban kifejlesztett irányítási eljáráshoz lokális keresésen alapuló heurisztikát dolgoztak ki, amelynek célja a kapott ütemezés javítása.
- A Fraunhofer Társaság (FhG) által kezdeményezett új, a *gyártás biológiai transzformációjára* irányuló stratégiai program keretében az Aacheni Egyetemen és az FhG IPT Intézettel együttműködve egy összejt szaporításra tervezett automata platform prototípus vezérlésének hatékony megvalósítására használtak multi-ágens szimulációt és megerősítéses tanulást. Egy a gradiens véletlenített becslésén alapuló Kiefer-Wolfowitz típusú sztochasztikus approximációs módszer segítségével közel 30% hatékonyságnövekedést értek el a platform szimulált modelljén.

A célzott alap kutatások, melyek döntően hazai támogatású projektek (OTKA, GINOP, NKFIA) keretében folytak, további alkalmazott, több esetben ipari partnerek által kezdeményezett kutatásokat és fejlesztéseket készítettek elő. Az alkalmazott kutatást, a jövő kutatóinak képzését, tapasztalatszerzését és az ipari innovációt egyaránt támogató budapesti *Smart Factory* mintarendszer és az Intézet győri telephelyen 2017-ben kialakított Ipar 4.0 minta gyártó- és logisztikai rendszer jelentősen bővült.

Gépi érzékelés és interakció

- Olyan *szaliens objektummodelleket* dolgoztak ki több alkalmazási területen, mely kézzel kiválasztott (ún. "handcrafted") szalienciajellemzőket és gépi tanulási technikákat ötvöz hatékonyan.
- Általános *robustus modellek automatikus illesztését* végezték zajjal terhelt adatokra úgy, hogy a felhasználónak nem szükséges a zajra vonatkozó küszöbparaméter megadása, miközben az eljárás a félautomatikus state-of-the-art módszereknél lényegesen pontosabb eredményt ad.
- A *térbeli felületek irányultságának* becslését adták többnézetű affin képi megfeleltetések alapján, miközben képesek a hibás nézetek robustus szűrésére is.
- A *képi régiók többnézetű geometria szerinti optimális illesztését* végezték a bizonytalan képi jellemzők alakjának korrekciójával. Az eljárás hatékonyságát demonstrálták többkamerás rendszer mozgásának becslésére.
- Új elméleti megközelítésben a *relatív kameramozgás robustus becslésére* adtak megoldást tetszőleges középpontos vetítésű nézetek között, az affin megfeleltetésekre alapozva.
- Kidolgoztak egy eljárást, ami ritka minták esetén, egy távoli és egy közeli in-line holograf felvétel alkalmazásával a fázisrekonstrukciót pontosabbá és a fázis visszahívását - ami általában egy igen lassú iteratív eljárás - gyorsabbá teszi.
- *Off-axis holográfia* alkalmazása során ugyan a fáziseloszlás általában egyszerűen kinyerhető, de a visszaállítás módja miatt az elérhető felbontás, illetve a vizsgált terület mérete jelentősen korlátozott lesz. Kidolgoztak egy olyan algoritmust, amivel az off-axis hologramokban mindig jelenlévő in-line komponens rekonstrukciója is elérhetővé válik. Így ritka mintákra egyetlen off-axis hologram alkalmazása esetén a rekonstrukcióval elérhető felbontás jelentősen megnő, míg sűrű minták esetén két felvétel alkalmazásával elérhető egy jóval nagyobb felbontású rekonstrukció.
- *Fázistolás interferometriát* alkalmazva sikerült megmérni többféle minta fáziseloszlását egy most kidolgozott optikai elrendezés segítségével. Ebben az újfajta módszerben a szálcátolt lézerek kimenetén mérhető – a hőmérséklet ingadozása és miniatűr rezgések okozta – hullámfront random fázis eltolódásait használták. Ezek a parazita jelenségek más mérések esetén kifejezetten zavaróak, illetve nehezen kompenzálhatóak, de itt ki tudták velük váltani a drága, precíziós, nanométeres tartományban működő fázistoló

optikai eszközöket. A kiértékelő algoritmus újszerű módszerekkel határozza meg ezeknek a véletlenszerű fáziseltolódásoknak pontos mértékét és ez alapján készíti el a mért tárgy fáziseloszlásának a pontos rekonstrukcióját.

- *A mélytanuláson alapuló ütközésselkerülő rendszer* alkalmazkodó képességét megteremtő on-line tanulási módszert (kontextus kalibráció) vezettek be és szimulációs tesztjei elkészültek konvolúciós neurális hálókra. A módszer implementálhatóságát erőforráskorlátos pilóta nélküli repülőgép fedélzeti hardveren is tesztelték.
- *Valós repülési teszten* bemutatták az ismert pozíciójú földi objektumok alapján automatikus helymeghatározást végző vizuális rendszert. Az elkészült rendszer egy előrelépés a pilóta nélküli repülőgépek légtérbe integrálása terén, valamint a redundánssá váló fedélzeti műszerpark emeli a repülés biztonságát. Megkezdték a dinamikus virtuális városi és vidéki tesztkörnyezetek beüzemelését CARLA szimulációs rendszerben. Ezek a szimulációk lehetővé teszik a Vehicle-in-the-Loop tesztek végrehajtását az intézet autonóm gépjárművével.

KUTATÁS-FEJLESZTÉSI TEVÉKENYSÉGEK

Járműipar és közlekedés

A járműipart és közlekedést érintő technológia fejlesztéseket jellemzően a közúti és légi közlekedés eszközei és rendszerei strukturálták.

- *Autonóm járművek összehangolt irányítási és döntési stratégiai területén* a kutatások célja a biztonságos járműtrajektóriák tervezése és a járműmozgások minimális energiájú irányítással való megvalósítása. Statisztikai, valószínűségi és modell alapú módszerekkel predikciós algoritmusokat dolgoztak ki a nem autonóm járművek mozgásának becslésére. A becslés eredményei modell prediktív (MPC) irányításokkal, valamint az optimalizálási eredmények alapján tanított neurális hálók beépítésre kerültek az autonóm járműirányításba.
- *Változtatható geometriájú futómű irányításelméleti problémáinak* kutatási területén valós tesztpadon mérésekkel igazolták, hogy a robusztus, lineáris változó paraméterű (LPV) alapú irányítási stratégiákkal a kormányzás intelligens beavatkozókkal hatékonyan megvalósítható, illetve a jármű dinamikája az előírt követelmények szerint irányítható. A változtatható geometriájú futóművekkel rendelkező járműveknek a jövő városi közlekedésében, a könnyűszerkezetű elektromos járművek irányíthatóságában lehet jelentőségük.
- *Az autonóm járművek kommunikációs és szenzorhálózatain* jelentős mennyiségű, a járműdinamikai jellemzőkről fontos információkat hordozó adat érhető el. A kutatások során big data információk analízisén keresztül meghatározásra kerültek a jármű, illetve a közlekedési rendszerek irányíthatósági tartományai. Módszertan került kidolgozásra az analízis eredményeinek modell prediktív (MPC), illetve lineáris változó paraméterű (LPV) irányításokon keresztül való, az autonóm járműirányításba történő beépítésére.
- *Mesterséges intelligenciára épülő autonóm járműirányítási algoritmusok* alkalmazásai területén a robusztus irányításelméleti módszertan segítségével egy tervezési architektúra került kidolgozásra. Ennek alkalmazásával a mesterséges intelligenciára épülő irányításra nézve performanciagaranciák bizonyíthatók. A mesterséges intelligencia autonóm járművekben történő alkalmazására vonatkozó kiemelt fontosságú kutatásban nemzetközileg is újszerű eredményeket értek el.
- *Vezetőnélküli légi járművekben (UAV)* alkalmazható kamera alapú légi érzékelő és elkerülő rendszer kutatása folytatódott a „látni és elkerülni” funkciók megvalósítására. Az elkerülő repülőgép vizuális detekciójának finomítása zajlott egy erre a célra kialakított virtuális valóság környezetben, ahol a fedélzeti szenzorokat fotorealisztikusan képesek szimulálni és a felvételeket közvetlenül a GPU-s képfeldolgozó egységnek és a

navigációs algoritmusoknak továbbítani. A multidiszciplináris kutatási program keretében repülésdinamikai, gépi érzékelési és mélytanulási területek összekapcsolásával olyan zártköri szabályozás továbbfejlesztése zajlott, mely az ütközésetektálás megbízhatóságát jelentősen megnövelte. A kifejlesztett technológia megoldást ad az autonóm repülőknél biztonságos térbeli elkülönítésére, és hozzájárul a GPS vezérelte kijelölt útvonalon haladás biztonságossá tételéhez, amihez kapcsolódóan egy jelentős európai konzorciumban pályázatot is adtak be a kutatások ipari alkalmazásának elősegítése érdekében.

- Vizuális információ felhasználásával *automatikus leszállást biztosító rendszerek* adatfeldolgozási, képfeldolgozási és szenzorfüziós módszereit kutatták, ahol a franciaországi tesztrepülések során bizonyították az eljárásaik elméleti eredményeit repülési adatokkal. A kidolgozott képfeldolgozási és szenzorfüziós módszerek, melyek által az adott geometriával rendelkező leszállóhely detektálása mellett, a becslés konfidenciája is monitorozható, tesztelését egy nagyméretű pilóta nélküli gépen végezték. Irántuk az Airbus és Dassault repülőgépgyártó is nagy érdeklődést mutatott.
- Repülési kísérletekben bizonyították a SZTAKI által tervezett és épített fedélzeti irányítási és adatgyűjtő rendszert a FLEXOP H2020 projekt keretében. A *szárny flexibilitásból* adódó rezonancia (flutter) jelenség matematikai leírására több, különböző absztrakciós szintű modellt fejlesztettek ki, amikből kiindulva fejlett szabályozásméleti módszerekkel bemutatták, hogy a stabil repülési tartomány 20%-al növelhető meg. Ezáltal teret adtak új szárny és repülőgép tervezési módszereknek, aminek hatására az üzemanyag fogyasztás akár 8%-al javul, vagy 25%-al nagyobb hasznos terhet képes a repülőgép szállítani az eredeti fogyasztás mellett.
- Valós körülmények között, a zalaegerszegi tesztpályán mutatták be a *LIDAR alapú helymeghatározó és környezetérzékelő eljárásukat*. Az általuk kifejlesztett környezetérzékelő algoritmusokat illesztették az adott körülményekhez, elérve az úttest, a terep és a közlekedési tárgyak elkülönítését, osztályozását, illetve követését.
- Kifejlesztettek egy *automatikus LIDAR-kamera regisztrációs módszert*, amely teljesen automatikusan, a jármű haladása közben képes a szenzorelmozdulásokból fakadó regisztrációs hibákat kijavítani. Így nincs szükség a kézi kamera, illetve a LIDAR hosszadalmas és gyakran ismételt kalibrációjára.
- Kifejlesztettek egy eljárást, ami a járművek 3D lézeres környezet érzékeléséből származó részleges információiból (akár nagy távolságból is) képes az objektumok megbízható felismerésére.
- Kidolgoztak egy *mélytanulás alapú eljárást*, amely képes osztályozni a térbeli pontfelhők egyes pontjait, azok rögzített sugarú környezetének vizsgálatával, akár 9 különböző típusú régiót megkülönböztetve (úttest, jármű, gyalogos, mozgó fantom, stb.).
- Kidolgoztak egy módszert, mely segítségével lehetővé válik a *LIDAR-ral felszerelt autonóm járművek lokalizációja* városi környezetben, ahol létezik egy előre elkészített pontfelhő térkép. A javasolt módszer felismeri a geometriailag hasonló helyeket az online mért 3D-s felhő és az *a priori* off-line térkép között, ezáltal kijavítva az inkrementális elmozdulás hibáját. Továbbá kidolgoztak egy másik eljárást a LIDAR alapú SLAM algoritmusokhoz, amely automatikusan képes lokalizálni autonóm mobil gépek számára a környezetben bekövetkezett változásokat. Az eljárás nagy előnye, hogy nem szükséges plusz feldolgozási művelet a térképező és lokalizáló algoritmus mellett.

Termelésinformatika és logisztika

A termelésinformatikai és logisztikai K+F+I tevékenység termelő, szolgáltató és logisztikai rendszerek tervezésére és modellezésére, valamint azok működésének irányítására, optimalizálására, monitorozására és valós viszonyokhoz való adaptálására irányul, üzemi, vállalati és hálózati szinten egyaránt. A beszámolási időszakban elért főbb eredmények a következők:

- Nemzetközi együttműködésben elemezték a *globális termelési hálózatokat*. Számba vették azokat a tényezőket és kihívásokat, amik döntő módon meghatározzák ezen hálózatok működési feltételeit, és olyan tervezési elveket és követendő mintákat adtak meg, melyek alkalmazásával a történetileg kialakult struktúrák úgy alakíthatók, hogy a hálózatok működése hatékony, egyszersmind fenntartható legyen. Az elemzést ipari esettanulmányok kísérték.
- Szimulációs modellt definiáltak a *beszállítói hálózatok robusztusságának* vizsgálatára és a zavarok terjedésének elemzésére. A modell alapján kísérleti szimulációs rendszert implementáltak, ami a számos magas szintű döntési probléma közül kettőt tartalmaz (beszállítóválasztás és árazás).
- Nyílt forráskódú technológiákon alapuló *referencia-architektúrát dolgoztak ki ipari adatelemzési feladatok megoldására*. A rugalmas adatgyűjtési, tárolási és feldolgozási rétegeken túl az architektúra támogatja az adatok és eredmények valós idejű megjelenítését, valamint az eredmények visszavezetését a vállalati döntéstámogatási folyamatokba.
- Kidolgoztak egy *új számítási architektúrát*, amelyben a *kiber-fizikai gyártórendszerek* érzékelési, beavatkozási, számítási és hálózati szolgáltatásai egységes absztrakciós modellben leírhatók. A modell alapul szolgál egy kísérleti Ipar4.0 gyártó és logisztikai mintarendszer megvalósításához.
- Ipari partnerrel együttműködve kerámia maráskor jelentkező szerszámkopás on-line felügyeletére dolgoztak ki új eljárást, amely alkalmasan ötvözi a nemlineáris kísérlettervezés és mesterséges intelligencia tanuló és keresési módszereit.
- Új vizsgálati eljárást dolgoztak ki a *mágneses hengerlés* gyártástechnológiája számára, tekintetbe véve a keménységre, felületi érdességre, korrózióállóságra, makro geometriai jellemzőkre és a sorja eltávolításra vonatkozó kapcsolatokat. A vizsgálati eljárást különböző anyagok (acél, alumínium, polimer) hengerlésekor tesztelték.
- Új poliédes eredményeket értek el egy *energiakorlátos projekt ütemezési problémával* kapcsolatban, ahol a feladatok összes energia igényét kell teljesíteni, míg a feladatokra fordított energia mennyiségét a hozzájuk rendelt, akár időben változó, erőforrások határozzák meg.
- A világ legnagyobb ipari IT szabványait készítő konzorciumában, a Khronos Groupban fejlesztik az első ipari virtuális valóság szabványt, az OpenXR-t. Vezető informatikai vállalatokkal (Google, Nvidia, Microsoft, Intel, Samsung) közösen dolgoznak a *virtuális valóság technológiáinak ipari alkalmazhatóságát biztosító szabványon*. Létrehozták az ApertusVR nevű technológiát, amely az OpenXR hivatalos megvalósítása. Az ApertusVR-rel a virtuális valóság technológiái beépíthetők ipari szoftverrendszerekbe is.

Energetika és fenntartható fejlődés

- Az energiatermelő rendszerek irányítása és felügyelete területén az *MVM Paksi Atomerőmű Zrt. irányítástechnikai rekonstrukciójának* szakértői támogatásával folytatódott a stratégiai együttműködésen alapuló ipari tevékenység. Meghatározó szerepet játszottak a modernizált irányítástechnikai architektúra felső szintjén elhelyezkedő támogató rendszerek koncepciójának kidolgozásában és a felújítandó mérőkörök minősítési követelményeinek összefoglalásában. Részt vettek a

turbinaszabályozás irányítástechnikai felújításával kapcsolatos biztonsági követelmények felülvizsgálatában és a Reaktorvédelmi Rendszer (RVR) karbantartási stratégiájának megalapozásában.

- Kétszintű programozási modellt és újszerű megoldási eljárást javasoltak az *energiahálózatokban végzett tarifaoptimalizálásra* a keresletoldali szabályozáshoz. Az eljárás során a kétszintű modellt az alsó szintű feladat dualitásának kihasználásával egyszintű, ún. kvadratikus korlátozott programozási feladattá alakították, és azt egy ismételt lineáris programozáson alapuló keresési algoritmussal hatékonyan megoldották.
- A fenti, Stackelberg-játékokon alapuló modellek gyakorlati alkalmazását megnehezíti az a feltevés, hogy a vezető tökéletesen ismeri a követők döntési modelljét és paramétereit. Kimutatták és számítási kísérletekkel demonstrálták, hogy amennyiben egy, az irodalomban gyakran használt modell elfogadható pontossággal leírja a fogyasztók viselkedését, akkor a modell paramétereit a fogyasztó historikus viselkedéséből rekonstruálhatók.
- Optimalizálási modellt állítottak fel a *megújuló energiaforrások* szerepének vizsgálatára a hazai energiaösszetételben. A matematikai megfogalmazás egy nemlineáris szétszétési feladatra vezetett.
- Nemzetközi konzorciumban részt vettek egy *körforgásos gazdasági modellt támogató digitális platform* új koncepciójának kidolgozásában, amely áthidalja az értéklánc szereplői között jelenleg fennálló információs aszimmetriát. A modell lényeges vonása, hogy különböző ipari szektorokat köt össze. A koncepció egy sikeres H2020 pályázat alapja.
- A környezetünk műanyag-szennyezettségének csökkentésére fejlesztettek optikai válogató rendszert, mely a különböző műanyag típusok (PET, PE, PVC) szétválasztását valósítja meg. A búslak-pusztai *hulladékválogató szeparátor* hatékonyságát sikerült 88% felé emelni a PET palackoknak a háztartási hulladékból való kiválasztását illetően. Ezáltal lehetséges a nagyszámú PET palackok újrahasznosítása egy zöld jövő reményében.

Orvosi, biológiai, mezőgazdasági alkalmazások

- Mélytanulási eljárást alkalmazó, *alapvető életjeleket vizuális eszközökkel monitorozó eszközt* fejlesztettek ki, és tesztelték klinikai alkalmazásban koraszülött csecsemőkön. A rendszer képes a csecsemők pulzusát és légzését mérni a szabad bőrfelületek illetve a mozgó hasi rész megfigyelésével anélkül, hogy az inkubátorba mérőegységeket, illetve vezetékeket kellene bevinni.
- A GINOP zMed projektben gépi tanulási, konvolúciós hálózatokat alkalmazó mélytanulási módszerekkel *automatikus szerv- és tumor-szegmentálási módszereket* dolgoztak ki. Az agyi tumor detekció és szegmentálás területén új módszert fejlesztettek ki orvosi felvételek szaliencia alapú fúziós tanítására.
- Elkészítették egy orvostanhallgatók által használható telefonos alkalmazás prototípusát, amely egy 3D anatómiai modell valós térben történő elhelyezésével segíti a tanulást. Megmutatja az egyes testrészek pontos helyét és illeszkedését, információ nyerhető ki azokról, valamint egy teszt segítségével az elsajátított tudás ellenőrizhető is.
- *Mezőgazdasági adatok* elemzését végezték mesterséges intelligencia módszerekkel. Kutatásuk célja a *hozamelőrejelzés* pontosságának növelése volt. A Széchenyi Egyetem által előállított, vizsgált adathalmaz többek között egy 15,3 hektáros kutatási területen a talaj tulajdonságait, a meteorológiai feltételeket, a gazdálkodási jellemzőket és a hozamot 63 kezelési egységre bontva tartalmazta. Az eredmények azt mutatták, hogy az XGBoost nagyon hatékony volt a közepes magas kukorica termésbecslésében.
- A *robotizált termésellenőrzés és precíziós mezőgazdaság* témakörében vizsgálták az automatikus objektumdetektáló képfeldolgozó eljárásokat haszonnövények (paradicsom)

felismeréséhez és osztályzására. Kidolgoztak egy új, a sztereó körpanoráma képpárok feldolgozására alkalmas algoritmust, amely képes felismerni, elválasztani, megszámlálni a termést és megbecsülni annak érési fázisait.

Hálózatok, az elosztott számítások, a jövő internete

- Foglalkoztak az általuk korábban javasolt *GDC (Generalized Diversity Coding) hálózati kódolási eljárás* algoritmikus jellemzőivel. Itt az üzenetküldés forrásánál két részfolyamra osztják a felhasználói adatfolyamot (üzenetet), az ezekből képzett XOR-sorozat a harmadik adatfolyam. Elegendő, ha a hálózat biztosítani tudja, hogy ebből a háromból két folyam ér hibátlanul célba. Ekkor az eredeti üzenetet a címzett könnyedén olvashatja. A módszer több algoritmikus kérdésével foglalkoztak, így például a minimális költségű üzenetküldés problémájára adtak hatékony (polinomiális) megoldást.
- *Közösségi hálózatok* vizsgálatára olyan mesterséges intelligencia alapú, új neurális beágyazási módszert alkottak, amely képes egy dinamikus, élek adatfolyamként érkező gráf kezelésére.
- A csúcsok tulajdonságainak gráf folyamban történő követéséhez a rendkívül sikeres Node2Vec eljárás kiterjesztését adták. A gráfbeágyazási tanulási módszerek a csúcsokat egy alacsony dimenziós vektortérre képezik, amelyben a gráf eredeti szerkezete megőrződik. Kétféle, séta, illetve szomszédság alapú módszert fejlesztettek ki, amelyek mind a Twitter felhasználók dinamikus hasonlóság keresésében, mind a kutatásokban gyakran használt közösségi hálózat-adatokon az új élek előrejelzésében jobban teljesítettek, mint a statikus modellek.
- Mesterséges intelligencia megoldásokat támogató szoftverinfrastruktúra-fejlesztések keretében kutatásokat, kísérleteket végeztek az Apache Spark alkalmazására, amelynek előnye, hogy ez egy elosztott számításokra képes keretrendszer, ami több számítógép számítási kapacitását képes egyidejűleg kihasználni. Kísérleteiket több számítógépből álló klaszteren végezték, amelyet az MTA Cloudon, illetve a Lendület kutatócsoport klaszterén állítottak fel.
- Egy könnyű *on-the-fly dinamikus újraparticionáló modul* fejlesztettek ki elosztott adatfeldolgozó rendszerekhez, beleértve az Apache Spark-ot és az Apache Flink-t, amely elhanyagolható többlet mellett javítja a teljesítményt. Módszerünk adaptívan újraoszthatja az adatokat a végrehajtás során, külön mintavételi feladat vagy előzetes aggregálási szakasz nélkül, mielőtt a particionálási döntést meghoznák. A valódi és generált hatványeloszlású adatokkal végzett kísérleteik során a különféle Spark és Flink feladatokhoz 1,5-10-es sebességgyorsulást értek el.
- Az MTA Wigner Adatközponttal közösen végezték az *MTA Cloud* kiépítését és a felhasználók támogatását. Az előző évben elkezdett mesterséges intelligencia kutatást támogató referenciaarchitektúrák kifejlesztését folytatták két újabb referenciaarchitektúra kidolgozásával: Keras, Tensorflow, Jupiter notebook, illetve Keras, Tensorflow, Jupiter notebook, GPU. A referenciaarchitektúrákhoz kapcsolódóan kialakítottak két egynapos tanfolyami anyagot az MTA felhasználók számára.
- A H2020 COLA projekt keretében a fő cél a MICADO keretrendszer *automatikus skálázási algoritmusának* kidolgozása és optimalizálása volt, mesterséges intelligencia technikák alkalmazásával. A kidolgozott algoritmus beépítésre került a MICADO Policy Keeper komponensébe, hatékonyságát pedig tesztelik konkrét valós alkalmazások esetében az akadémiai MTA Cloudon és a kereskedelmi Amazon Cloudon.
- A H2020 CloudiFactoring projektben a konzorciumi partnerekkel továbbfejlesztettek az *Ipar 4.0* számára egy olyan *platform keretrendszert*, ami különböző tárolási technológiák – pl. HPC, felhő és helyi megoldások – között egységes adattranszfert tesz lehetővé, továbbá gyártásfolyamatokhoz kapcsolódó nagyléptékű szimulációk és komplex

analitikák különböző munkafolyam, illetve HPC megoldások alapján történő egységes végrehajtásához nyújt támogatást.

- Befejezték az *MTMT2 (Magyar Tudományos Művek Tára)* országos tudományos publikáció nyilvántartási rendszer új digitális archívumi szoftverrendszerének fejlesztését és a rendszert éles üzembe állították. A 2018. november 1-től üzemszerűen működő MTMT2 rendszert 2019-ben több szempontból továbbfejlesztették. Funkcióbővülést eredményezett többek között a hivatkozási adatok exportálása különféle, 1200 különböző megjelenési formátumban, valamint a határon túli kutatókra vonatkozó adattárolás és lekérdezés megvalósítása.

b) Tudomány és a társadalom

Az intézet kommunikációs tevékenységét korszerű csatornák, interaktivitás, transzparencia, társadalmi felelősségvállalás, illetve a kutatói és marketing szemlélet dinamikus összeegyeztetése jellemzi. A beszámolási időszakban mintegy *100 médiamegjelenésük volt, 50 intézményi hírrel* tájékoztatták az érdeklődőket, 3 nagyobb témáról adtak ki sajtóközleményt. Kutatóik rendszeresen nyilatkoznak nyomtatott és digitális újságoknak, magazinoknak, tévé és rádióműsoroknak. Az intézetben folyó munkáról cikk-riport jelent meg az *M5* tévén, az *Origón*, az *Index-en*, a *Magyar Nemzet-ben*, a *444-en*, a *Kisalföld.hu-n*, a *Weborvos.hu-n*, a *MedicaOnline-on*, a *Webradio.hu-n*, a *PecsiUjsag.hu-n*, az *Sg.hu-n*, a *HelloWorldOnline.hu-n*, a *Mandiner-en*, a *Jozsefvaros.hu-n*, a *Beol.hu-n*, az *Turizmus.com-on*, a *Szeretunkutazni.hu-n*, a *Hellovidek.hu-n*, *Vg.hu-n*, az *OrientPress.hu-n*. több alkalommal interjút adtak a *Kossuth Rádióban*, a *Győr Plusz rádióban*. Szaklapokban is megjelentek: többször írt róluk a *GyártásTrend*, az *Érintő* és az *AutoPro*.

Emellett jelen vannak a közösségi médiában is: Facebook-oldalukat *több mint 1000-en követik*, az átlagosan naponta több mint egyszer frissül, ez éves szinten több mint *400 bejegyzést jelent*. *Havi szinten átlagosan 20 ezres* elérésszámot értek el. Legfontosabb híreiket, eseményeiket angolul is kommunikálják. Fokozottan igaz utóbbi állítás LinkedIn oldalukra, melyet *több mint 1200-an követnek*, *havonta átlagosan 5000-es* eléréssel, éves szinten *több mint 100 bejegyzéssel*. Jelen vannak a Youtube-on is több mint *40* videós tartalommal.

Folyamatosan karbantartják angol és magyar nyelvű Wikipédia-oldalaikat is (*négy egyedi oldalt működtetnek*), a tervek szerint hamarosan jelentősen bővítik is az ott elérhető tartalmakat.

Továbbfejlesztették *GUIDE@HAND okostelefonos alkalmazáscsaládjukat*. „A Pál utcai fiúk nyomában” címmel ingyenes, többnyelvű, GPS-alapú mobilapplikációs sétát készítettek el, Ferencváros és Józsefváros közös finanszírozásában. Az okostelefonos interaktív séta segítségével Molnár Ferenc világhírű regényének helyszíneivel lehet megismerkedni; a mű történései, élményei élhetőek újra. Az interaktív séta tizenhárom látványossághoz kalauzolja el a felhasználót, valamennyihez rövid ismertető, építészeti leírás kapcsolódik, részletek hangzanak el a regényből, a kor hangulatát visszaadó zenei betétekkel együtt. Az anyagot archív fotók és az 1969-ben készült, Fábri Zoltán által rendezett játékfilm néhány jelenete is színesíti.

Az intézet fejlesztette ki és tartja karban az *MTMT 2 (Magyar Tudományos Művek Tára)* országos tudományos publikáció nyilvántartási rendszer új digitális archívumi szoftverrendszerét. Az MTMT2 rendszer országos hatáskörű állami regiszter, mely központilag kezeli/tárolja a teljes magyar kutatási tevékenységre vonatkozó tudánymetriai metaadatokat és mint ilyen, a magyarországi tudányművelés és -finanszírozás lényegi, központosított intézményi kiszolgálását célozza. A rendszer e központi funkciója miatt speciális biztonsági és használati követelményeket támaszt. Az MTMT2 rendszer felhasználóinak száma kb. 40 ezer (az ország tudományos és felsőoktatási szféráinak kutatói, munkatársai), valamint kb. 500 aktív

MTMT2 adminisztrátor, akik professzionális adatkurátori funkciókat látnak el.

Immár harmadik alkalommal rendezték meg innovációs cégükkel, az EPIC Innolabs Kft.-vel együtt az *INDIGO Ipari Digitalizációs Szakmai Napot*, ahol a hazai előadók mellett nemzetközi, Németországból az Amerikai Egyesült Államokból érkezett szakértők is felléptek. A mintegy 150-200 részvevő a hazai Ipar 4.0 ökoszisztéma minden jellegzetes szegmensét képviselte: nagy-, kis- és közepméretű vállalatok, informatikai és technológiai szolgáltatók, szakmai szervezetek és kormányzat egyaránt jelen voltak.

Legújabb eredményeikkel megjelentek a HUNGEXPO tavaszi „*Ipar Napjai*” vásárán és egyéb regionális rendezvényeken.

Folytatták a *Rudolf E. Kalman Distinguished Lecturer Program*-ot és a SZTAKI meet-up sorozatot. Általános- és középiskolás osztályok megtekinthették régi számítástechnikai eszközökből, klasszikus gépekből és értékes relikviákból álló időszakos kiállításukat is.

Az MTA SZAKI a Wigner Adatközponttal együttműködve folyamatosan biztosítja és fejleszti az MTA kutatóintézetek nagy számításigényű informatikai igényeit kiszolgáló *MTA Cloud* kutatási felhő infrastruktúrát.

Európai projekt keretében sikeresen támogattak több művészet- és társadalomtudományi kutatóközösséget, hogy az általuk kidolgozott és üzemeltetett tudományos átjáró (portál) segítségével elérhessék az *európai nyílt tudományos felhőre* (European Open Science Cloud) adaptált digitális szolgáltatásaikat.

III. A kutatóhely hazai és nemzetközi K+F kapcsolatai

Nemzetközi kapcsolatok

Az Intézet munkatársai aktívan közreműködnek témakörük legjelentősebb nemzetközi tudományos szervezeteinek (*IEEE, CIRP, IFAC, IMEKO, IAPR*) vezetésében, munkabizottságaiban és ezek egyes konferenciáinak, ill. műhelytalálkozóinak előkészítésében.

Folytatva sikeres szereplésüket az EU kutatási programjaiban, a *Horizon 2020* program keretében eddig 20 elnyert projektről tudnak beszámolni, melyek közül ötben konzorciumvezetők.

Az EU *Horizon 2020 Widening* program legnagyobb presztízsű, ún. *Teaming* kutatási kiválósági program keretében az intézet vezetésével 2017-ben elindult a „Termelésinformatikai és Termelésirányítási Kiválósági Központ” (EPIC) projekt. Ezzel az intézet, a német Fraunhofer Társaság, valamint a BME Közlekedés- és Járműmérnöki valamint Gépészmérnöki Karai közti hosszútávú európai kooperáció intézményes alapjait megteremtve létrejött a kibernetikai rendszerek nemzetközileg elismert kiválósági központja.

Az intézet jelentős gyakorlattal és projekttapasztalattal rendelkezik a kereskedelmi célú repülést és a gépjárműipart érintő kutatások és technológia fejlesztések területén. Az avionikai kutatások tekintetében a *Minnesotai Egyetem* repüléstechnikai tanszékével, az *USA Haditengerészetének Kutatási Hivatalával (ONR)*, a *Bordeaux-i Egyetem* rendszerelméleti laboratóriumával, valamint a német (DLR) és európai űrügynökséggel (ESA) ápoltt kapcsolatok említendők.

Otthont adnak a World Wide Web Consortium (W3C) Magyar Irodájának. A W3C Magyar Iroda részt vesz a munkacsoportok tevékenységében, ezáltal közvetlenül hozzájárul a web fejlesztéséhez, valamint korai információkkal rendelkezik a web fejlődésének várható irányáról. Segíti a W3C nemzetközi szabványainak magyar elterjesztését, a W3C technológiákkal kapcsolatban felvilágosítást nyújt és összekapcsolja az érdeklődőket a nemzetközi szakemberekkel.

Vállalati kutatás-fejlesztési kapcsolatok

Kiemelt feladatuknak tartják, hogy az *ipari digitalizációval* kapcsolatos gazdasági és társadalmi kutatások eredményei, valamint az *Ipar 4.0 ökoszisztéma* alapú szemléletek mind szélesebb körben kerüljenek nyilvánosságra és hasznosításra.

2017. decemberében szövetséggé alakult a 2016. májusában vezetésükkel létrejött, az ipar digitális átalakításában érdekelt hazai kutatóintézeteket, oktatási intézményeket és magyarországi telephellyel rendelkező vállalkozásokat tömörítő *Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform* (Ipar 4.0 NTP). Jelentős szerepet vállaltak a platform működtetésében, nemzetközi és hazai képviselőként, valamint egy, az iparvállalatok Ipar 4.0 készültségi szintjéről készített országos felmérés kiértékelésében és az eredmények közzétételében.

A kis- és középméretű vállalatokkal (KKV) folytatott együttműködés egyre inkább az *EPIC Innolabs Kft.* felelősségévé vált, amely egy stratégiai együttműködés keretében egyes területeken (pl. eseményvezérelt szimuláció, termelésstervezés és –ütemezés) a *Siemens PLM* szoftver *Tecnomatix* és *Preactor* termékvonalainak egyik kiemelkedő hazai kompetenciaközpontja lett. Több, jellemzően autóiipari cég jelentkezett konkrét robotikai problémákkal – e téren a Kft. szakmai háttérét továbbra is az Intézet biztosítja. Több hazai vállalattal közös kutatás-fejlesztési munkát folytatnak. Tevékenységük 2019-ben a *Western Digital* cég révén tengerentúli (kínai és malaysiai) országokra is kiterjedt.

Három új *szabadalmuk* került publikálásra, korábbi szabadalmaik közül hét került megújításra, némelyik több országban is. Folytatódott a *Hitachi Ltd., Manufacturing Technology Research Center*-rel az immár tizenkét éves közös kutatás. Az év során egy újabb közös szabadalmuk került publikálásra, hat korábbi pedig megújítottak, közülük némelyiket több országban.

Az intézet a felfedező kutatások eredményeivel járul hozzá a Győrben folyó, kiemelkedő színvonalú járműipari kutatásokhoz, jelenlétével egyidejűleg támogatva az alapvetően régiós műszaki és természettudományos K+F+I tevékenységeket. Az együttműködés bázisa az MTA által alapított és a győri Széchenyi István Egyetemen létrejött *Járműtechnológiai Kutatások Kiválósági Központja (J3K)*. A kutatóközpont működését az MTA, az Audi Hungaria, az egyetem és Győr városa együtt biztosítja.

Munkatársaik részt vettek a Zalaegerszegen jórészt már megépített, az önvezető járművek prototípusainak kötelező ellenőrzését és azok műszaki teljesítménytesztjeinek lebonyolítását lehetővé tevő autóiipari tesztpálya (*ZalaZone*) specifikációs munkáiban. Az önvezető járművekkel kapcsolatos kutatás-fejlesztési eredményeiket sikerrel mutatták be a pályán.

Energetikai területen a meglévő blokkok hosszú távú biztonságos üzemeltetésének irányítástechnikai feladataiban az MVM Paksi Atomerőmű Zrt.-vel, míg a későbbi kapacitás-fenntartási feladatok irányítástechnikai vonatkozásaiban a MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt.-vel és az MVM ERBE ENERGETIKA Mérnökiroda Zrt.-vel működnek együtt.

Az intézet Győrben és Kecskeméten is telephelyet üzemeltet.

Hazai kapcsolatok, részvétel a felsőoktatásban

Az *Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform Szövetség* az intézet vezetésével jött létre. Az MTA SZTAKI a magyarországi 5G- és *Mesterséges Intelligencia koalícióknak* egyaránt alapító tagja és aktív résztvevője.

Sikeresen pályáztak az európai RDA (Research Data Alliance) hazai csomópontjának, a Hungarian Research Data Alliance (HRDA) létrehozását célzó pályázaton. A HRDA szervezethez több kutatóintézet, egyetem, kormányzati szervek és más szervezet csatlakozott.

Az egyetemi graduális és posztgraduális oktatást az intézet továbbra is a kutatási tevékenység

fontos velejárájaként és a jövőépítés elengedhetetlen feltételeként kezeli. Rendszeres oktatási tevékenységet folytatnak a következő hazai felsőoktatási intézményekben: BME, ELTE, Corvinus, PE, SZE, PTE, ME, PPKE, KE. Átlagosan mintegy 20 PhD hallgató végzi kutatómunkáját az intézetben, kutatók témavezetése mellett. A hazai doktori iskolákban munkatársaik 25 esetben szerepelnek külső és 5 ízben belső alapító tagként.

IV. A 2019-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

Tüdőrák diagnosztikai mesterséges intelligencia mellkas CT felvétel alapján

(Benczúr András, GINOP-2.2.1-18-2018-00004, 352 015 600 Ft, 2019-2022)

A projekt célja mesterséges intelligencia módszerek fejlesztése mellkas CT felvétel alapján a tüdőrák diagnosztizálásra.

FLIPASED Flight Phase Adaptive Aero-Servo-Elastic Aircraft Design Methods

(Vanek Bálint, EU H2020 815058, 1 066 875 €, 2019-2022)

A FLIPASED projekt az aeroelaszticitás, a légköri turbulencia hatására létrejövő rugalmas viselkedés, a repülőgép szabályozási módszerek, és a fedélzeti műszerek, valamint a tanúsítási szempontok közötti szoros összekapcsolódást kutatja, és így újítja meg a repülőgép tervezési módszereket.

NEANIAS Novel EOSC services for Emerging Atmosphere, Underwater and Space Challenges

(Lovas Róbert, EU H2020 863448, 341 375 €, 2019-2022)

A projekt célja új EOSC (European Open Science Cloud) szolgáltatások kialakítása a feltörekvő légköri, vízfelszín alatti és űrkutatás számára.

Ready2BIM Planning of the renovation of residential buildings and adaption into the BIM workflow

(Benedek Csaba, 2018-2.1.3-EUREKA-2018-00032, 77 600 €, 2019-2021)

A projekt célja innovatív térinformatikai szolgáltatások kifejlesztése, városok energetikai és rekonstrukciós feladatainak támogatása.

A sebesség és a felfüggesztés szabályozásának integrációja az automatizált vezetési kényelem növelése érdekében.

(Gáspár Péter, 2018-2.1.13-TÉT-FR-2018-00003, 1 981 000 Ft, 2019-2020)

A projekt célja együttműködés az Institut Polytechnique de Grenoble-lal és a GIPSA-LAB-bal a sebesség és a felfüggesztés szabályozásának integrációja témában az automatizált vezetési kényelem növelése érdekében.

Optimalizálás Fenntartható Ellátási Láncokban

(Kis Tamás, SNN 129178, 35 754 000 Ft, 2019-2022)

A kutatás során ellátási láncok optimális működését elősegítő modellek és eljárások kidolgozását tervezik, figyelembe véve a váratlan eseményeket, a működésből eredő környezeti hatásokat és az energiafelhasználást.

Intelligens közúti jármű útkörnyezetének és a járműhöz közeli forgalmi eseményeknek detektálása.

(Fazekas Zoltán, 2018-2.1.10-TÉT-MC-2018-00009, 1 999 600 Ft, 2019-2020)

A magyar-marokkói TÉT-projekt tárgya annak a vizsgálata, hogy a közúti járművek kapcsolt volta, a más járművekkel való együttműködés lehetősége vagy a járművek saját intelligens szenzorjai lényegesebbek bizonyos, a járművezetés során felmerülő feladatok megoldásában, illetve a közlekedési kérdések megválaszolásában.

DigiPrime Digital Platform for Circular Economy in Cross-sectional Sustainable Value Networks
(*Pedone Gianfranco, EU H2020 873111, 460 066 €, 2019-2023*)

A DigiPrime projekt célja egy körforgásos gazdaságon alapuló digitális platform új koncepciójának kidolgozása, amely áthidalja az értéklánc szereplői közötti jelenleg fennálló információs aszimmetriát.

Axiomatikus rangsorolás
(*Csató László, PPD2019-9/2019, 32 707 000 Ft, 2019-2022*)

Különböző, elsősorban páros összehasonlításokból kiinduló rangsorolási problémák elméleti vizsgálata.

HRDA Hungarian Research Data Alliance
(*Kacsuk Péter, RDA Call for New Nodes- Wave II, 32 400 €, 2019-2020*)

A HRDA a kutatási adatok kezelésében követett, jó gyakorlatoknak a hazai elterjesztését tűzte ki célul az RDA (Research Data Alliance) ernyője alatt.

V. A 2019-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

1. Baráth, D.; Eichhardt, I.; Hajder, L.: Optimal Multi-View Surface Normal Estimation using Affine Correspondences. IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, 28: 7, pp. 3301-3310. (2019) [SZTAKI](#)
2. Bauer, P.; Hiba, A.; Bokor, J.; Zarándy, Á.: Three dimensional intruder closest point of approach estimation based-on monocular image parameters in aircraft sense and avoid. JOURNAL OF INTELLIGENT & ROBOTIC SYSTEMS, 93: 1-2, pp. 261-276. (2019) [SZTAKI](#)
3. Csáji, B.Cs.; Kis, K.B.: Distribution-Free Uncertainty Quantification for Kernel Methods by Gradient Perturbations, MACHINE LEARNING, 108: 8-9, pp. 1677-1699. (2019) [SZTAKI](#)
4. Csató, L.: A characterization of the Logarithmic Least Squares Method, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, 276: 1, pp. 212-216. (2019) [SZTAKI](#)
5. Gödri, I.; Kardos, Cs.; Pfeiffer, A.; Vánca, J.: Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems, CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY, 68: 1, pp. 471-474. (2019) [SZTAKI](#)
6. Györgyi, P.; Kis, T.: A probabilistic approach to pickup and delivery problems with time window uncertainty, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, 274: 3, pp. 909-923. (2019) [SZTAKI](#)
7. Ivanyos, G.; Kutas, P.; Rónyai, L.: Explicit equivalence of quadratic forms over $F_q(t)$, FINITE FIELDS AND THEIR APPLICATIONS, 55, pp. 33-63. (2019) [SZTAKI](#)
8. Kelen, D.; Daróczy, B.; Ayala-Gómez, F.; Ország, A.; Benczúr, A.: Session Recommendation via Recurrent Neural Networks over Fisher Embedding Vectors, SENSORS, 19: 16, Paper No.: 3498, 23 p. (2019) [SZTAKI](#)
9. Kiss, T.; Kacsuk, P.; Kovacs, J.; Rakoczi, B.; Hajnal, A.; Farkas, A.; Gesmier, G.; Terstyanszky, G.: MiCADO-Microservice-based Cloud Application-level Dynamic Orchestrator, FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS, 94, pp. 937-946. (2019) [SZTAKI](#)

10. Lanza, G.; Ferdows, K.; Kara, S.; Mourtzis, D.; Schuh, G.; Váncza, J.; Wang, L.; Wiendahl, H-P. : Global production networks: Design and operation, CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY, 68: 2, pp. 823-841. (2019) [SZTAKI](#)
11. Lipták, Gy.; Pituk, M.; Hangos, K.M.: Modelling and stability analysis of complex balanced kinetic systems with distributed time delays, JOURNAL OF PROCESS CONTROL, 84, pp. 13-23. (2019) [SZTAKI](#)
12. Manno-Kovacs, A.: Direction Selective Contour Detection for Salient Objects, IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, 29: 2, pp. 375-389. (2019) [SZTAKI](#)
13. Manno-Kovacs, A.; Giusti, E.; Berizzi, F.; Kovacs, L.: Image Based Robust Target Classification for Passive ISAR, IEEE SENSORS JOURNAL, 19: 1, pp. 268-276. (2019) [SZTAKI](#)
14. Nagy, B.; Benedek, Cs.: 3D CNN Based Semantic Labeling Approach for Mobile Laser Scanning Data, IEEE SENSORS JOURNAL, 19: 21, pp. 10034-10045. (2019) [SZTAKI](#)
15. Németh, B.; Fényes, D.; Gáspár, P.; Bokor, J.: Coordination of Independent Steering and Torque Vectoring in a Variable-Geometry Suspension System, IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, 27: 5, pp. 2209-2220. (2019) [SZTAKI](#)
16. Rödönyi, G.: Heterogeneous string stability of unidirectionally interconnected MIMO LTI systems, AUTOMATICA, 103, pp. 354-362. (2019) [SZTAKI](#)
17. Venkataraman, R.; Bauer, P.; Seiler, P.; Vanek, B.: Comparison of fault detection and isolation methods for a small unmanned aircraft, CONTROL ENGINEERING PRACTICE, 84, pp. 365-376. (2019) [SZTAKI](#)
18. Zvara, Z.; Szabó, P.G.N.; Balázs, B.; Benczúr, A.: Optimizing distributed data stream processing by tracing, FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS, 90 pp. 578-591. (2019) [SZTAKI](#)