

Repülőgépek multidiszciplináris modellezése és irányítása a zöldebb környezet érdekében

A SZTAKI vezetésével folyó FLEXOP projekt keretében a világon először repült szárnyrugalmasságot üzemanyag-megtakarításra használó repülő.

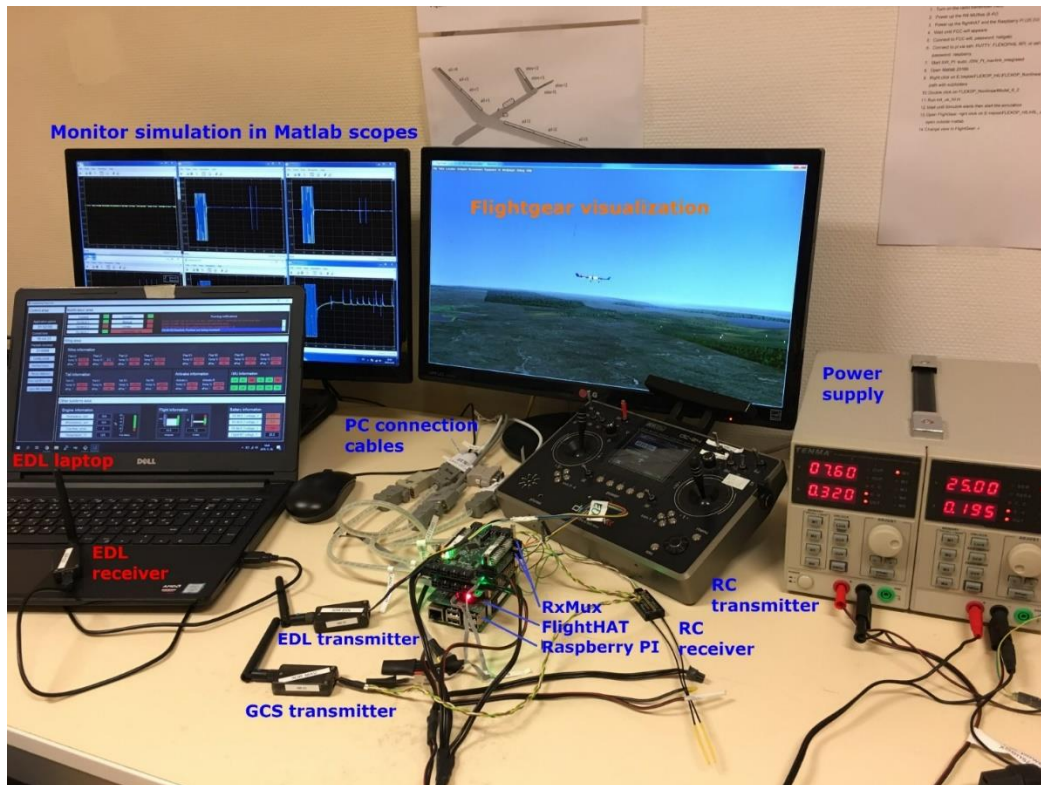


A FLEXOP demonstrátor repülőgép az oberpfaffenhofi reptéren (2019 nov. 19.)

2019. november 19-én a világon először repült valós környezetben úgynevezett aeroelasztikusan szabott szárnyakkal rendelkező repülőgép, melyben a szénszálak kompozit száliránya változik a szárny mentén. A SZTAKI által vezetett nemzetközi, FLEXOP nevű projektben kifejlesztett repülőgép próbaútjának célja a szárnyakra nehezedő terhelés passzív csillapításának tesztelése volt. A projekt vezetése mellett a SZTAKI kutatói jelentős eredményeket értek el a sokdimenziós, multidiszciplináris (aero-szervo-elasztikus) matematikai modellezés, modellredukció, valamint a rendszer és szabályozási rendszer struktúráját figyelembe vevő, robosztus irányítástervezési módszerek kutatása terén. Az elméleti eredményeket felhasználva és azokat kiegészítve a SZTAKI tervezte, építette és működteti a fedélzeti avionikai (elektromos és elektronikai repülési) rendszert, beleértve a szárnyban lévő érzékelőket és aktuátorokat, valamint a fedélzeti robotpilóta-rendszer szoftveres és hardveres elemeit, amelyekkel megismételhető kísérleteket végez és adatokat gyűjt a repülő.

A projekt elmúlt négy és fél évének megfeszített munkáját megkoronázta, hogy a repülési tesztek során értékes adatokat nyertek a repülőgép viselkedéséről, amelyek nagyon jó egyezést mutatnak az elméleti szimulációs eredményekkel, ezzel pedig bizonyították a partnerek kutatási eredményeit. A SZTAKI által épített fedélzeti adatgyűjtőrendszer kimagasló működésének köszönhetően a projektben elért eredményeket kiválóan tudják dokumentálni. A fedélzeten valós időben futó rugalmas viselkedés identifikációjára épülő operatív modális analízis új területeket nyithat meg.

A kísérleti repülőgép szárnyában lévő szénszálak speciális, irányított szabásmintájának köszönhetően amilyen irányból kell, a szárny erős, míg a többi részen anyag, ezzel tömeg takarítható meg, és mivel az új generációs szárnynál azonos repülési manővereknél alacsonyabb erőhatásoknak kell fellépnie, a repülés zöldebb és olcsóbb lehet. Azonban a komplex repülőgép modellek, amelyek leírják a rugalmas viselkedést különböző külső hatások esetén akár több millió szabadságfokot is tartalmaznak. Ezt egy többlépcsős, aerodinamikai, mechanikai és szabályzáselméleti ismereteket is igénylő folyamat során sikerült numerikusan is kezelhető méretű nemlineáris dinamikai rendszerre egyszerűsíteni, ami már valósídejű, „hardware-in-the-loop” szimulációra is alkalmas, hogy az elméletben kifejlesztett fejlett szabályzáselméleti eredményeket a valós repülés előtt tesztelni tudják a laboratóriumban. A tesztekhez szükséges speciális manőverek megtervezésében és kivitelezésében is kiemelt szerepe van a SZTAKI által megtervezett robotpilótának, amely modell alapú tervezési módszereknek köszönhetően már az első repülési teszten is tökéletesen működött.



A repülőgép fedélzeti robotpilóta rendszere és szabályozási algoritmusai "Hardware-in-the-loop" tesztelés közben

A kutatásaik során a passzív terheléscsillapításon felül az aktív módszerekre helyezték a hangsúlyt, hogy a flutter-jelenség ne korlátozza a repülőgép-tervezés során a legnagyobb elérhető szárnykarcsúságot. A repülőgép tervezése során könnyítettek a flutter-mentes repülési tartomány kötöttségein, ami jelenlegi előírások szerint 15%-al kell, hogy meghaladja a legnagyobb repülési sebességet, mivel a kutatások során bemutatták, hogy az általuk tervezett szabályozó rendszer 20%-ot elérő mértékben képes kitolni a flutter sebességet aktív irányítás segítségével. Ez a technológia lehetővé teszi az utasszállító repülőgépszárnyak karcsúságának növelését (a jelenlegi legkorszerűbb repülőgép az Airbus A350 esetében ez 9,25) egészen a jelenlegi anyagtechnológia mellett optimálisnak mondható 12,5-es értékig, ami a projekt következtetései szerint 8% üzemanyag megtakarítást vagy 25%-al magasabb hasznos terhelést jelent a repülőgépgyártóknak.

Laboratórium: Rendszer és Irányításelméleti Kutatólaboratórium

Publikációk

- Venkataraman R, Bauer P, Seiler P, Vanek B: Comparison of fault detection and isolation methods for a small unmanned aircraft. *Control Engineering Practice*, 84:365–376, (2019), DOI: 10.1016/j.conengprac.2018.12.002, IF: 3.232.
- 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):261–276, (2019), DOI: 10.1007/s10846-018-0816-6, IF: 2.02.
- Bauer P, Hiba A, Zsedrovits T: Real flight application of a monocular image-based aircraft collision decision method. *International Journal of Aerospace Engineering*, Article ID 7191839:1-16, (2019), DOI: 10.1155/2019/7191839

Fejlett, kollaboratív robotika kiber-fizikai térben

A SZTAKI munkatársai nemzetközi együttműködésben felmérték a szerelési feladatok megoldásra jelenleg alkalmas ember-robot együttműködést támogató technológiákat, ezek szabványait és ipari szintű alkalmazási korlátait. Az elemzés célja az ember-robot együttműködés mai gyakorlatának meghaladása, új, ún. szimbiotikus kommunikációs, tervezési, vezérlési és monitorozási módszerek kidolgozása, melyek az ember biztonságának garantálása mellett hatékonyabb, és mind fizikai, mind kognitív terhelés szempontjából könnyebb munkavégzést tesznek lehetővé.

A kutatás-fejlesztés fő irányaiaként határozták meg a (1) technológiai tervezés, (2) robot mozgáspálya generálás, és (3) a biztonságos ember-robot együttműködés megoldását. Mindezek alapvető feltétele, hogy a tervező rendszer a lehető legpontosabb digitális ikermodell segítségével leképezze a valós, csak részben strukturált környezetet. Ennek érdekében olyan módszereket dolgoztak ki, amelyek különféle szenzorinformációk alapján (pontfelhő, erőszensor, kamera) adaptálják, kalibrálják és folyamatosan frissítik a környezetről alkotott képet. A modell része lehet az emberi közreműködő, akinek jelenléte, mozgása eleve számottevő bizonytalanság forrása. A koncepcióban a vizuális jelfeldolgozás mind a félig strukturált környezetről alkotott modell felállítására, mind a szituációk felismerésére terén jelentős szerepet kapott. Mint ezt kísérletek is igazolták, mechanikus pakolási és szerelési feladatok végzése során felmerülő jellegzetes hibahelyzetek felismerése gépi tanulással hatékonyan és megbízhatóan támogatható.

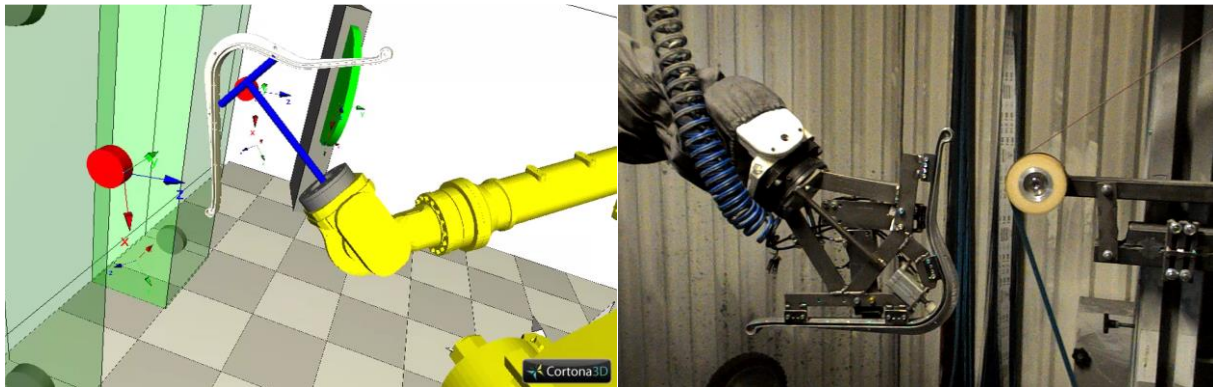


Pakolási feladat megoldása részben strukturált környezetben képfeldolgozás és valós idejű pályatervezés alkalmazásával

Az elvégzendő feladatok magas szintű megadását is tartalmazó digitális ikermodellből kiindulva automatikusan állítottak elő végrehajtható szerelési terveket, és ezek lejátszásához kidolgoztak egy multimodális ember-gép interfészt. Az ipari robotokkal végzett szerelési, anyagmozgatási, és megmunkálási műveletek automatikus tervezésének alapvető eleme a robot mozgáspályájának tervezése, illetve ennek során az ütközésvizsgálat a robot és környezete között. Szoftverkönyvtárat fejlesztettek ki, mely ipari robotos munkaállomások geometriai és kinematikai modellezésére, a cellában végzett hatékony ütközésvizsgálatra, illetve ennek segítségével akár közel valós idejű pályatervezésre is alkalmas. Párhuzamosított számítási módszereket dolgoztak ki, melyekkel a geometriai következtetés nagymennyiségű térbeli adat (pl. pontfelhő) felett is hatékonyan elvégezhető, elsősorban háromdimenziós testmodellekkel adott objektumok – akár az emberi operátor – felismerése érdekében. A fejlett robotikai eszközkészletet különféle pakolási és szerelési,

illevé bonyolult ipari megmunkálási feladatok (szabad formájú felületek köszörülése) megoldásával tesztelték és demonstrálták.

Végül kidolgoztak és implementáltak egy új számítási architektúrát, amelyben a kiber-fizikai gyártórendszerek érzékelési, beavatkozási, számítási és hálózati szolgáltatásai egységes absztrakciós modellben leírhatók. Ebben lehetőség van heterogén eszközöket tartalmazó cellák létrehozására és azok különböző protokollokon (pl. OPC UA) keresztül való csatlakoztatására, a kiber-fizikai rendszer fizikai és virtuális elemeinek párhuzamos működtetésére, a virtuális elemek állapotának fizikai jellemzők alapján való frissítésére, létrehozva azok digitális ikermását.



Robotos köszörülés digitális ikermmodellje és valós környezete.

A témakörben folytatott kutatás több ipari projektet is eredményezett. Ezek között kiemelendő a Hitachi Ltd. Yokohama Research Laboratory-val való együttműködés: a jelenleg is folyó kétoldalú kutatás beleillik abba a magas szintű nemzetközi tudományos együttműködési programba, amelynek célja az ipari automatizálás adaptálása a munkában részt vevő emberek képességeihez és pillanatnyi diszpozíciójához.

A fejlett robotikai, így ember-robot kollaboratív szereléssel kapcsolatos aktuális eredményeket több nyilvános fórumon – HUNGEXPO Ipar Napjai, INDIGO 2019 műhelytalálkozó – fizikai demonstrátorokkal is bemutatták. A SZTAKI győri kiber-fizikai minta laboratóriumát több eseményre, többek között a Kutatók Éjszakájára és az Ipar4.0 Nemzeti Technológiai Platform meet-up rendezvényére is kinyitották az érdeklődő közönség számára, és az eredményekről beszámoltak az Európai Robotikai Fórumon is.

Laboratórium: Mérnöki és Üzleti Intelligencia Kutatólaboratórium

Publikációk

Beregi R, Pedone G, Mezgár I: A novel fluid architecture for cyber-physical production systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4-5):340-351, (2019), DOI: 10.1080/0951192X.2019.1571239, IF: 1.949

Kardos Cs, Kovács A, Vánca J: A constraint model for assembly planning. *Journal of Manufacturing Systems*, 54:196-203, (2020) DOI: 10.1016/j.jmsy.2019.11.007, IF: 3.642

Wang L, Gao R, Vánca J, Krüger J, Wang XV, Makris S, Chryssolouris G: Symbiotic human-robot collaborative assembly. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 68(2):701-726, (2019), DOI:10.1016/j.cirp.2019.05.002, IF:3.333

Tsutsumi, D.; Gyulai, D.; Kovács, A.; Tipary, B.; Ueno, Y.; Nonaka, Y.; Fujita, K.: Joint optimization of product tolerance design, process plan, and production plan in high-precision multi-product assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 54:336-347, (2020), DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.01.004, IF: 3.642.

Cserteg T, Erdős G, Horváth G: Digital twin assisted human-robot collaborative workcell control. *ERCIM News*, No. 115, pp. 34-36, (2018) <https://ercim-news.ercim.eu/en115/special/2109-digital-twin-assisted-human-robot-collaborative-workcell-control>.

- Mezgár I, Pedone G: Cloud-based manufacturing (CBM) interoperability in Industry 4.0. In: Ferreira L et al. (Eds.), *Technological Developments in Industry 4.0 for Business Applications*, IGI Global, (2019), p. 28, DOI: 10.4018/978-1-5225-4936-9.ch008.
- Fekula M, Horváth G: Determining stable equilibria of spatial objects and validating the results with drop simulation. 52th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS 2019), 12-14 June 2019, Ljubljana, Slovenia, *Procedia CIRP*, 81: 316-321, (2019), DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.055.
- Kemény Zs, Beregi R, Nacsa J, Kardos Cs, Horváth D: Example of a problem-to-course life cycle in layout and process planning at the MTA SZTAKI learning factories. *Procedia Manufacturing*, 31:206–212, (2019), DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.033
- Komáromi G, Abai K, Nacsa J, Tipary B: Assembly of hydraulic cylinders in collaborative human-robot environment. *XXVII. International Conference on Mechanical Engineering – OGÉT*, 2019, Orodea, Romania, pp. 284-287, ISSN 2068-1267 (2019) (in Hungarian).
- Abai K, Nacsa J, Kemény Zs: AGV with robotic arm for internal logistics. *XXVII. International Conference on Mechanical Engineering – OGÉT*, Orodea, Romania, pp. 14-1, ISSN 2068-1267, (2019) (in Hungarian).
- Zahorán L, Kovács A: Efficient collision detection for path planning for industrial robots. In: *Proc. of the 6th Student Computer Science Research Conference (StuCoSReC 2019)*, Koper, Slovenia, pp. 19-22, 2019.
- Horváth M., Fekula M., Kis T., Kovács A.: Disjunctive programming in assembly planning, *XXXIII. Hungarian Conference on Operational Research*, Szeged, p. 1 (2019) (in Hungarian).
- Paniti I, Nacsa J, Abai K: Robotic assembly with three-finger gripper. *Workshop 2019, HUNGARNET*, Győr, p. 8, (2019) (in Hungarian).
- Nacsa J, Hajós M, Komáromi G, Horváth G, Pataki B: Ball-valve assembly in human-robot cooperation. *Workshop 2019, HUNGARNET*, Győr, p. 8 (2019) (in Hungarian).