

## OTKA K 71762

*Autonóm földi, légi és vízi robotok korszerű irányításelmélete és mesterséges intelligencia eszközei*

### A KUTATÁS EREDMÉNYEI

#### *1. A kutatás célja, a munkatervben vállalt program rövid összefoglalása*

A mobilis, kooperáló és gyengén ismert környezetben is önálló működésre képes ún. autonóm mobilis robotágensek (pl. kerekeken guruló, mászó vagy lábon járó robotok), valamint az ezekkel rokon embernélküli földi, légi és vízi járművek (UGV, UAV, UMR), más felfogásban robotok (UGR, UAR, UMR), a nemlineáris dinamikus rendszerek irányítási elméletének körébe tartoznak. Különösen bonyolult az a gyakorlat számára is fontos eset, amikor ilyenekből egyszerre többet kell koordinált módon irányítani (formációban haladás). Irányításuk igényli a nemlineáris szabályozáselmélet modern irányzatainak intenzív alkalmazását, valamint GPS, inerciális érzékelők (IMU) és mesterséges intelligencia eszközök (képfeldolgozás, tanulás, puha számítástechnikák) alkalmazását.

A kutatás új elméleti eredmények és módszerek kifejlesztésére koncentrált a különféle robotágensek és járművek egységes elvek alapján történő modellezése, identifikációja és irányítása, az ágensek alulaktuált jellegét és az akadályokat is figyelembe vevő pályatervezése, a speciális érzékelőkre, mozgásanalízisre és sztereo képfeldolgozásra épülő navigáció, a gyors irányítási célú kommunikáció és a rendszeroptimalizálás területén a valós idejű elvárások figyelembevételével.

#### *2. A szerződésben vállaltaktól való eltérések*

A szerződésben vállalt kutatási feladatoktól és a költségtervtől a megvalósítás során nem tértünk el. A résztvevők köre megegyezik a szerződésben szereplőkével. Az eszközbeszerzések a szerződésnek megfelelően realizálódtak, a szükségessé vált egyetlen korrekciót engedélyeztettük.

#### *3. Az eredményekből született publikációk statisztikája*

Az eredményekből 4 angol nyelvű PhD értekezés készült és került megvédésre (Varga, Szádeczky-Kardoss, Lemmer, Prohászka), további 3 doktori cselekmény (Kis, Regula, Kovács) folyamatban van. Az eredményekből angol nyelven 19 folyóiratcikk (ebből 13 külföldi folyóiratban), 1 könyv (Springer), 6 könyvfejezet és 42 konferencia előadás, továbbá magyar nyelven 2 folyóiratcikk jelent meg. A folyóirat publikációk összesített impakt faktora 8,968.

A publikációk feltöltve olvashatók a zárójelentés "Közlemények" részeként, de megtalálhatók még a BME PA-ban illetve a témavezető esetében az MTMT adatbázisában, a BME OMIKK értekezései között, az ott nem szereplő kivételes esetekben a BME IIT Tanszék repozitóriumában (URL link). Kivétel: Lantos B –Márton L: Nonlinear Control of Vehicles and Robots, Springer Verlag, 2011, p. 459, amely könyvnek csak a tartalomjegyzéke lett feltöltve.

#### *4. Az elért eredmények*

A hivatkozások számozása az OTKA adatbázisában szereplő "Közlemények" számozásának felel meg annak nyomtatási képében.

*1) Módszereket dolgoztunk ki a földi, légi és vízi járművek (robotok) egységes elveken alapuló modellezésére. A nemlineáris dinamikus modellekre alapozva irányítási algoritmusokat fejlesztettünk ki a különféle járműesetekre. Formációban haladó földi és vízi járművek esetén potenciálfüggvényen, passzivitás-elméleten, szinkronizált pályakövetésen és*

*több-test megközelítésen alapuló stabil irányítási módszereket dolgoztunk ki.* [55, Chapters 2-8], [35], [54], [56]

a) A modellalkotás a differenciálgeometria eredményein, az anholonom rendszerek elméletén, valamint az Euler-Newton és a Lagrange-technikán alapul, de figyelembe veszi az egyes rendszerek specialitásait is (súrlódás és megcsúszás, légellenállás és szélhatás, hullámzás és tengeráramlatok). b) A modellekre alapozva nemlineáris irányítási módszereket fejlesztettünk ki a különféle alulaktuált (a beavatkozó jelek száma kisebb a szabadságfoknál) járműtípusokra állapotbecslő bevonásával, így földi jármű mozgó horizontú (RHC) prediktív irányításra, repülőgép két szintű robusztus irányítására (alsó szinten zavarójel megfigyelő, felső szinten RHC), 4-rotoros beltéri helikopter irányítására visszalépéses (backstepping) stabilizálással és Hinf módszerek alkalmazásával, valamint felszíni hajók többváltozós (MIMO) 6-szabadságfokú nemlineáris szétcsatolására és backstepping irányítására. c) Formációban haladó földi járművek esetén három hierarchia szintet tartalmazó, potenciálfüggvényen és passzivitás-elméleten alapuló irányítási módszert fejlesztettünk ki. Formációban haladó vízi járművek esetére két módszert, a szinkronizált pályakövetésen és passzivitáselméleten alapuló irányítást, valamint a többtest-felfogáson alapuló módszert dolgoztunk ki. A módszereket szimulációval ellenőriztük.

*2) Módszereket dolgoztunk ki nemsima nemlinearitásokat tartalmazó robotok és más mechatronikai rendszerek modellezésére, identifikációjára és robusztus irányítására.* [55, Chapters 9-11], [7], [8], [9], [18], [28], [29], [30], [31], [46], [58], [59], [60], [61]

a) Hibrid rendszerek elméletén alapuló új módszert dolgoztunk ki a nemlineáris súrlódást és holtcsávot (backlash) tartalmazó mechatronikai rendszerek modellezésére és vizsgálatára. A kidolgozott modell alapján megmutattuk, hogy a hibrid rendszerek stabilitásvizsgálatára kidolgozott tételek alkalmazhatóak mechanikai irányítási rendszerekben a súrlódás és holtcsáv miatt megjelenő határciklusok megjósolására. Ljapunov tételt és a Riccati-egyenletet felhasználva módszert dolgoztunk ki LQ állapotvisszacsatolás tervezésre úgy, hogy a mechanikai irányítási rendszerben a nemlineáris súrlódás és holtcsáv miatt megjelenő határciklus garantáltan elkerülhető legyen. b) Összefüggést dolgoztunk ki a mechanikai rendszer és a szabályozó paraméterei között, amely alapján megjósolható a határciklus megjelenése állapot-visszacsatolással megvalósított pozíciószabályozás esetén. A határciklus megjelenése esetén tanulmányoztuk a határciklus kaotikus jellegét a Ljapunov-exponens és a korreláció dimenzió bevonásával. c) Alulirányított mechanikai rendszerekre alkalmazható, online adaptáción alapuló súrlódás identifikációs algoritmust dolgoztunk ki, melynek eredményeit beépítettük korszerű (LQ, altér stabilizációt alkalmazó és összetett hibametrikán alapuló) irányítási algoritmusokba, így garantálva az alulirányított rendszerek nagy pontosságú irányítását. d) Súrlódás- és ketyogásmérési módszert fejlesztettünk ki többszabadságfokú robotkarokra. Megmutattuk, hogy az identifikáció során a robotikai rendszerben megjelenő más rendszer-nemlinearitások nem elhanyagolhatóak. A módszert kiterjesztettük hidraulikus beavatkozókra, ennek során felhasználtuk dinamikus modelljüket az algoritmusban. Extrém hőmérsékleten dolgozó robotok esetén (pl. űrbeli alkalmazásoknál) az áttételek kenőanyagának állaga és a súrlódási paraméterek változása jelentős, a dinamikus súrlódási modell állapotának becslésére hibrid rendszerek elméletén alapuló állapotbecslési algoritmust dolgoztunk ki. Módszereket dolgoztunk ki a súrlódási paraméterek változása miatti hibák detektálására nemlineáris állapotbecslési technikák alkalmazásával. e) Ketyogás jelenlétében is jól működő robusztus-adaptív súrlódás és terhelésbecslést alkalmazó irányítási algoritmust dolgoztunk ki robotikai rendszerekre, ahol a robot csuklóiban megjelenő súrlódást nemlineáris dinamikus LuGre súrlódási modell írja le és a robot által mozgatott tárgy tömeg- és inerciaparaméterei ismeretlenek. Ljapunov módszerrel bizonyítottuk az irányítási rendszer

stabilitását és a pályakövetési hiba egy előre megadott pontossági sáv belsejébe történő konvergenciáját.

*3) Mozgástervezési és hatékony koordinálási algoritmusokat fejlesztettünk ki a multiágensű rendszerek egy széles osztálya számára korlátozások jelenlétében, amelyek a differenciálgeometria, a játékelmélet, a hibrid eseményvezérelt rendszerek, a megerősítéses tanulás és a számítási intelligencia elméletén alapulnak. [1], [2], [3], [17], [19], [40], [49], [71]*

a) Multiágensű rendszerek mozgástervezésének egy fontos részterülete a lábon járó robotok mozgástervezése, ahol a lábak az ágensek. A mozgástervezési probléma (MPP) vizsgálatát 6-lábú robot kinematikai modelljére alapozva végeztük anholonóm korlátozások és drift jelenlétében, amely szükségessé tette a rétegezett jelleg (stratified framework) figyelembevételét. A rétegezett rendszerek elméletére alapozva egy hatékony approximációt alkalmazó algoritmust fejlesztettünk ki a drift semlegesítésére. A fő elv a robot referencia pályájának olyan megvalósítása, amely egyidejűleg támogatja az akadályelkerülési probléma megoldását is. A lábak szisztematikus irányítására hibrid megközelítést, diszkrét eseményű rendszert és felügyelő irányítást alkalmaztunk. b) Az ágens-elvű koordináció problémája megjelenik a járművek városi forgalomirányításában és az utasforgalom irányításában zsúfolt helyeken (pl. repülőtér terminál). Városi forgalomirányítás számára új, játékelméleten alapuló módszereket fejlesztettünk ki, ahol a kereszteződések játékosokat reprezentálnak és a cél a forgalom makroszintű szuboptimális irányítása a zöld jelzések megfelelő megválasztásával. A játékelméleti módszer egyúttal általános keretrendszert nyújt, amelybe az intelligens járművek szuboptimális pályatervezése is beépítésre került. Multiágens rendszerekre kidolgozott koordinálási módszerek hatékonyak lehetnek repülőterek utasforgalmának irányítására is. Ennek első fázisaként megvalósításra került egy repülőtéri terminál cellaszintű modellezése Petri hálókkel és diszkrét állapotterben definiált store-and-forward modellel. c) Multiágens rendszerek magasszintű stratégiáira mesterséges intelligencia módszereket dolgoztunk ki. Ennek keretében megerősítéses tanulásra alapuló algoritmus koordináltan sikeresen mobilis robot csapatot ellenséges környezetben. Semleges környezetben mozgó célpont formációban való követésére fuzzy szakértő, fuzzy szabályozó és játékelméleti módszer fúzióján alapuló algoritmus is megvalósításra került.

*4) Modellezési eljárást dolgoztunk ki alulaktuált földi járművek és más mechatronikai rendszerek számára, ahol a korlátozások formája lineáris, és ezekre alapozva irányítási módszereket fejlesztettünk ki. Megmutattuk, hogy az időskálázást is lehetővé tevő visszacsatolások alkalmazásával bővíthető az állapotvisszacsatolással linearizálható dinamikus rendszerek osztálya. Prediktív irányításon alapuló módszert dolgoztunk ki hullámhajtómű és az elektromos kormány szervó együttes irányítására, valamint egy aktív alsó végtagprotézis szabályozására. A túlaktuált hiperredundáns robotok esetén az inverz kinematikai feladat megoldására a differenciális inverz kinematikán alapuló új eljárást fejlesztettünk ki. [6], [11], [12], [13], [15], [16], [25], [26], [27], [36], [37], [38], [45], [48], [53], [57], [67], [68], [73]*

a) Szükséges és elégséges feltételt adtunk az irányíthatóságra és megfigyelhetőségre alulaktuált mechanikai rendszer és lineáris korlátozások esetén. Felállítottunk két, elsősorban autóiipari alkalmazástechnikai szempontból lényeges, a kormányművekben alkalmazott, hullámhajtóművet tartalmazó mechanikai rendszer egyenleteit. Az első esetben a hullámhajtóművet egy holonom szkleronóm kinematikai korlátozásként modelleztük, amely három egyszabadságfokú merev test mozgását korlátozza. A második esetben a hullámhajtómű egyik tengelyén ki van egészítve egy torziós rugóval. Az így előálló struktúra általánosított rugóként modellezhető, amely mindhárom tengelyre hat. A rendszerekhez a

szétcsatolás elvén működő pozíció-erő szabályzókat terveztük, melyek működését szimulációs keretek között és próbapadi mérésekkel is vizsgáltuk. A járművek kormányrendszerét működtető intelligens aktuátorokra alapozva felső szintű irányítási stratégiákat dolgoztunk ki járműmodell alapú irányításra. b) Megmutattuk, hogy az időskálázás alkalmazásával bővíthető a dinamikus vagy statikus állapotvisszacsatolással linearizálható dinamikus rendszerek osztálya. Az autonóm járművek manőverezési feladatainak kapcsán bizonyítottuk, hogy az időskálázás segítségével pályakövető szabályozók adhatók, amelyek segítségével a pályamenti stabilitás tetszőleges sebességprofil mellett azonos geometriával biztosítható. Egyes autonóm manőverek esetén olyan pályatervezési eljárásokat dolgoztunk ki, amelyek időskálázásra egyszerűen használható pályaprimitívek alapján dolgoznak. A kapott szabályzó és pályatervező eljárásokat valós időben implementáltuk, személygépjárműben teszteltük. c) Bizonyítottuk, hogy az időskálázás koncepciója azonos munkatérben ütközésmentesen mozgó autonóm mobilis egységek pályatervezésében és irányításában is felhasználható. Az állapotvisszacsatolással linearizálható rendszereknél egyes alkalmazásoknál nehézségekbe ütközhet az állapot minden elemének mérése. Megmutattuk, hogy kielégítő viselkedés érhető el egyes alulirányított rendszerek esetében, ha egy pálya mentén linearizált dinamika alapján tervezett állapotbecslő változóit használjuk fel. d) Módszert dolgoztunk ki a gépjármű kormányrendszer részét képező hullámhajtómű és az elektromos kormány szervó együttes prediktív irányítására, ahol a két szabályozott mennyiség (kerék pozíció és nyomaték) időállandói között nagyságrendi eltérés van. A vezető jó kormányzási “érzete” fékpadon történt kísérletek alapján volt beállítható. e) Módszert fejlesztettünk ki egy egészségügyi mérnöki feladat, egy aktív alsó végtagprotézis LTV linearizálással történő modellprediktív (MPC) szabályozására. Ehhez kifejlesztettük az emberi járás egyszerűsített modelljét ultrahangos mérések kiértékelésével, amelynek segítségével kiszámítható a prediktív irányítás referencia pályája. Az MPC algoritmus az aktív protézis irányításához az egészséges láb mozgását másolja le. f) A túlaktuált hiperredundáns robotok képesek bonyolult akadályok kikerülésére komplex munkakörnyezetben, de ugyanez a tulajdonság jelentősen megnehezíti az inverz geometriai probléma megoldását. A feladat megoldására a differenciális inverz geometrián alapuló módszert fejlesztettünk ki, amely kinyeri az ún. transzverzális irányokat és a csuklóvázoló korlátokat nemlineáris transzformációval beépíti a differenciális inverz geometriai problémába, jelentősen megnövelve ezáltal a differenciális módszer alkalmazhatóságát.

*5) A mozgásanalízisen és a sztereotechnikán alapuló képfeldolgozás a mesterséges intelligencia részét képező észlelés (percepció) korszerű területe, ezekre alapozva módszereket fejlesztettünk ki, amelyek egyrészt általános célú képfeldolgozási feladatok megoldására, így a geometriai részletek osztályozására, normalizálására, összetartozó egyenes-seregek detektálására, képrészletek hasonlóságának mérésére és torzulásbecslésre alkalmazhatók, másrészt beltéri alkalmazások esetén méri a járművek térbeli pozícióját és orientációját valós időben. [10], [14], [32], [33], [34], [39], [47], [62], [63], [64], [65], [66], [74]*

a) Az alacsony szintű képfeldolgozás területén kidolgoztuk a SAFT (Self Affine Feature Transform) eljárást, amely előnyösen alkalmazható hasonlósági és affin invariánsok meghatározására a képrészletekben. Megmutattuk, hogy az 54-dimenziós SAFT leíró-vektor teljesítménye meghaladja a gyakorlatban elterjedt 128-dimenziós SIFT módszerét. A számítások gyorsítására bevontuk a számítógépek grafikus (GPU) processzorait is. Ecélből képfeldolgozó könyvtárat fejlesztettünk, kiegészítve robusztus lineáris algebrai könyvtárakkal, amely ötvözi a mátrix dekompozíciós JAMA könyvtárat a dinamikus memóriakezelést nem igénylő saját megoldásunkkal, ezáltal biztosítva a navigációs alkalmazásoknál szükséges számítási sebességet. b) Egyetlen beltéri 4-rotoros helikopter

esetére önkalibráló pozíció és orientáció mérőrendszert dolgoztunk ki, amely egyetlen kamerát igényel, a mozgásanalízis elvén alapul és 100 frame/sec feletti 3D pozíció/orientáció mérési sebességet biztosít. A rendszert jelentősen továbbfejlesztettük több jármű követésére alkalmas rendszerré. Színes markerek használatával csökkentettük a detektált pontok és a 3D modellek pontjai közötti lehetséges párosítások halmazát. A kifejlesztett rendszer a kalibráció során detektálja a használt színek számát és értékét, és ezek alapján automatikusan levágja a keresési tér nem vizsgálandó részeit. A képfeldolgozás elosztott multiprocesszoros rendszeren valósul meg, amely rádiókapcsolat keretében közli a 3D pozíció/orientáció értékeket az egyes járművekkel.

6) *Új módszertant dolgoztunk ki a diszkrét eseményű rendszerek (DES) többszintű modellezésére és felügyeleti irányítására, amely lehetővé teszi a specifikációk magas szintű megadását reguláris nyelvekkel és automatákkal. Kidolgoztuk a felügyeleti vezérlés szintézis módszereit a specifikáció alapján, amely hierarchikus és moduláris felépítésű felügyelő szabályozót eredményez.* [23], [24], [43], [44], [72]

a) A specifikációk modelljének véges állapotú automatákkal történő megadása komplex rendszerek esetén az állapotter exponenciális robbanását eredményezi. A problémák áthidalására kidolgozásra került egy új keretrendszer a diszkrét eseményű rendszerek többszintű modellezésére, amely több absztrakciós szintet alkalmaz. A funkcionális és technológiai szint közötti átjárás számára új taszk-fogalmat vezettünk be, amely egyetlen eseménypárral teszi lehetővé komplex eseménysorozat leírását. Így a fizikai szinthez közeli, nagy állapotterű I/O modellből jóval kisebb állapotterű absztrakt, magas szintű taszkeseeményeket tartalmazó funkcionális modellt származtat. A taszkok megadása után az áttérés automatizálható, az eredményből pedig a technológiai modell visszaállítható. b) Kidolgozásra került egy új, a többszintű modellezésen alapuló szabályozótervezési módszertan is. A módszer egyszerre alkalmaz a ki- és bemenetek eseményeit felügyelő taszk-felügyeleti szabályozókat és a taszkok működését koordináló funkcionális szabályozókat, melyek együttes használatával biztosítható az eredeti specifikációk betartása. c) A módszer előnye még, hogy a kidolgozott modellek és szabályozók egy egységes modellkönyvtárba foglalhatók és újrafelhasználhatók. Ugyanakkor a kidolgozott módszerek lehetővé teszik azt is, hogy a rendszer egy komponensének megváltoztatása esetén csupán a taszkmodelleket és taszk-felügyeleti szabályozókat lecserélve a megtervezett irányítási architektúra felsőbb szintjeinek módosítása nélkül is elérhető legyen az eredeti specifikációk teljesítése. d) A moduláris architektúra rendszerbe implementálására Supremica-Staeflow interfészt fejlesztettünk ki, amely megkönnyíti a felügyeleti irányítás integrálását Simulink modellekbe és a futtatható kód generálását.

7) *Módszert dolgoztunk ki navigációs szenzorok fúziójára, automatikus kalibrációjára, a kovariancia-mátrixok meghatározására és az állapotváltozók nagy pontosságú becslésére.* [20], [21], [42], [50], [51], [52], [69], [70]

a) A korszerű járműirányítási algoritmusok az állapotváltozók megfelelő pontosságú becslését igénylik, amely szükségessé teszi az olcsó és korszerű technológiákon alapuló inerciális (IMU), mágneses és GPS (kültérben) vagy képfeldolgozáson alapuló (beltérben) érzékelők fúzióját. Algoritmust dolgoztunk ki a 3D szenzorok előkalibrációjára, a zajos érzékelők erősítés és offset (bias) hibájának, kovariancia mátrixának és hőmérséklet függésének meghatározására, valamint az eltérő tengelyek miatti korrekcióra és a szenzor információk transzformálására a jármű koordináta-rendszerébe. b) Állapotbecslési módszert dolgoztunk ki, amely állóhelyzetben pontosítja az előkalibrált szenzor jellemzőket és a jármű mozgása közben tolerálni tudja bizonyos érzékelők átmeneti kimaradását. c) Differenciális GPS alkalmazása esetén eljárást fejlesztettünk ki, mely képes az ún. integer ambiguity

problémának gyors megoldására abban az esetben, ha a két GPS vevő antennája egymáshoz képest rögzített távolságra található. A módszer kiküszöböli a konkurens módszerek tipikus hátrányát, vagyis a lassan végrehajtható inicializálást. d) Adatgyűjtő rendszert fejlesztettünk ki, amely alkalmas 3 db DGPS vevő, IMU (3D gyorsulásmérő, 3D szögsebességmérő) és 3D mágneses szenzor adatainak egyidejű rögzítésére. Az adatgyűjtő rendszert autóra és vitorlázó repülőre szerelve teszteltük. A mérési adatokon validáltuk az integer ambiguity probléma megoldására szolgáló algoritmust és annak pontosságát mozgó autó és repülő esetén.

8) *Három 4-rotoros beltéri helikopterből álló mintarendszert fejlesztettünk ki a szülő légi járművek és formációban haladó járműegyüttesek irányítási és kommunikációs algoritmusainak vizsgálatára. A mintarendszeren demonstráltuk a kifejlesztett érzékelési, állapotbecslési és irányítási algoritmusok hatékonyságát valós idejű körülmények között.* [4], [5], [22], [41]

a) Kifejlesztettük a helikopter multiprocesszoros irányítórendszerét, amely korszerű belső sinrendszert (CAN), 3D inerciális érzékelőket (IMU), decentralizált motorszervókat tartalmaz és rádiókapcsolatban áll a földi képfeldolgozó rendszerrel. b) Repülés előtti tesztelésre hardware-in-the-loop (HIL) tesztelési környezetet hoztunk létre, amely tartalmazta a reális onboard irányítórendszert és dSPACE rendszeren emulálta a helikoptert és szenzorrendszerét, miközben az adatforgalom már valós időben CAN buszon folyt. c) Validáltuk a hoszt képfeldolgozó rendszer és az onboard IMU fúzióján alapuló állapotbecslést. Repülés közben fokozatosan teszteltük a különféle (PID, H2/Hinf, backstepping) irányítási algoritmusokat. d) A repülési tapasztalatok alapján módszert fejlesztettünk ki az egyes szenzorok késleltetésének figyelembevételére. Vészhelyzetben alkalmazható irányítási algoritmust és stratégiát dolgoztunk ki és valósítottunk meg, amely biztosítja, hogy az irányítás a külső képfeldolgozó rendszer kiesése esetén is képes a helikopter vízszintes stabilizációjára és a worst case függőleges landolás végrehajtására. e) Validáltuk az elosztott architektúrán megvalósított hoszt sztereo képfeldolgozó rendszert és az onboard irányító rendszereket több jármű esetén.

#### Részvétel nemzetközi tudományos konferenciákon

Az OTKA keretében biztosított pénzügyi források és részben más (tanszéki, Humboldt) források bevonásával kutatóink az alábbi nemzetközi konferenciákon tartottak előadást (zárójelben az előadások száma):

UKACC 2008, Manchester (2)  
RAAD 2008, Ancona (2)  
IEEE ISII 2008, Cambridge (1)  
WISES 2008, Regensburg (1)  
ERS 2008, Prague (1)  
ECC 2009, Budapest (5)  
IFAC SICP 2009, Moscow (1)  
ICAR 2009, Munich (1)  
CLAWAR 2010, Nagoya (1)  
RAAD 2010, Budapest (1)  
ISWDCS 2010, Miskolc (1)  
IWDES 2010, Berlin (1)  
IEEE/ASME AIM 2010, Montreal (1)  
IEEE/ASME AIM 2011, Budapest (1)  
RAAD 2011, Brno (2)  
EWACD 2011, Budapest (1)  
ICINCO 2011, Noordwijkerhout (2)  
ACC 2011, Melbourne (1)  
SYSI 2011, Subotica (1)

IPCV 2011, Las Vegas (1)  
MED 2012, Barcelona (2)  
WSEAS ACC 2012, Faro (2)

#### A kutatás során létrehozott befektetett eszközök

A projekt során megváltoztak a pénzügyi szabályozások, a maradványokat ez indokolja. A befektetett eszközök beszerzési tervével összhangban, az árváltozásokat és a lehetőségeket figyelembe véve a következő nagyobb egységeket hoztuk létre (részletezésüket a pénzügyi zárójelentés tartalmazza, a csoportosítás megfelel a leltári számoknak):

- Négyrotoros beltéri helikopterek (3+1 tartalék) motorvezérlői, IMU érzékelői, kommunikációs eszközei, mikrokontrollerei, CAN adó/vevői, A/D átalakítói, vezérlő processzorai (3xMPC555+1xMPC5200LINUX),
- Földi járműmodellek (3)
- DGPS navigációs egység saját bázisállomás céljára
- Képfeldolozó célszámítógép (PC)
- Járműirányító célszámítógép (notebook)
- Járműformáció irányítási célszámítógép (notebook)
- Irányítástechnikai tervezések célszámítógépe (PC, külön engedélyezve)

#### Referenciák, hivatkozások

A projekt során kutatási együttműködést hoztunk létre több külföldi egyetemmel:

- INSA de Lyon (France): közös PhD képzés diszkréteseményű rendszerek irányítása területén
- University of Poitiers (France): közös PhD képzés flexibilis robotok irányítása területén
- Florida Institute of Technology (USA): közös kutatás érzékeléstechnika és robotrendszerek irányítása területén, hallgatócsere, oktatói meghívás
- Nagoya Institute of Technology (Japan): közös kutatás kisegítő és rehabilitációs robotok területén
- Simon Fraser University (Canada): közös kutatás csapatba szervezett robotok irányítása és koordinálása területén (robotfoci, robothoki), hallgatócsere, oktatói meghívás

Diplomatervezőink közül többen is részt vettek nemzetközi robotikai versenyen és nyertek díjakat TDK konferenciákon. Rendszeresen fogadtunk hallgatókat európai és amerikai egyetemekről félév áthallgatásra és diplomatervezésre.

Az OTKA projekt 2008-2012 közötti kutatási periódusában (többszerzős cikk esetén a hivatkozást csak az egyik projekt-résztvevőnél figyelembe véve) a témavezető és a senior kutatók (Kiss B, Harmati I, Márton L) korábbi és jelenlegi publikációira a projekt témájában külföldi szerzőktől 101 hivatkozás történt, ebből 53 rangos folyóiratcikkekben. A projekt keretében keletkezett publikációkra eddig külföldi szerzőktől 34 hivatkozás történt, ebből 16 rangos folyóiratcikkekben.

Budapest, 2011. szeptember 17.

/Prof. emer. Dr. Lantos Béla/  
témavezető