

NEMLINEÁRIS RENDSZEREK IRÁNYÍTÁSI CÉLÚ IDENTIFIKÁCIÓJA ÉS JÁRMŰDINAMIKAI ALKALMAZÁSA 2005-2007

Kutatási zárójelentés, 2008. február

1. Célkitűzések

Az elmúlt években - 2005 és 2007 között - az OTKA által támogatott kutatásban folytonos idejű nemlineáris rendszerek modellezésével és identifikációjával foglalkoztunk. A feladatot nemlineáris kontextusban az motiválta, hogy az ismeretlen paraméterek minél pontosabb becslése és bizonytalanságának meghatározása hatványozott jelentőséggel bír a modellbázisú irányításelméleti feladatok megoldásában.

A kutatás elsődleges célkitűzése volt a **folytonos idejű nemlineáris állapotegyenletekkel leírt modellekben** szereplő paramétereknek bemenet-kimenet mérési adatok segítségével történő becslése, az úgynevezett szürkedoboz (grey-box) identifikációs probléma megoldása. Habár diszkrét idejű rendszerekre már számos eredmény született, a gyakorlati alkalmazásokban legalább akkora súllyal bíró folytonos idejű nemlineáris rendszerek identifikációjáról alig rendelkezünk az általános megállapításokon túlmenő és a probléma lényegét érintő ismeretekkel.

Az **elmúlt három évben** a következő feladatokkal foglalkoztunk.

- Nemlineáris modell grey-box identifikálhatóságának elemzése, folytonos nemlineáris rendszerek mérési adatokból való paraméterbecslésére használható optimalizációs feladatok és a lehetséges numerikus megoldó algoritmusok elméleti tulajdonságainak elemzése.
- Módszertan kidolgozása nemlineáris rendszerek grey-box identifikálására, a járműdinamikai alkalmazások speciális igényeinek figyelembe vétele, numerikus eljárások kidolgozása és implementálása.
- Módszertan kidolgozása az identifikált paraméterek bizonytalanságának becslésére. Járműdinamikai rendszerek irányítási feladatai által igényelt nemlineáris modellek identifikálása.

2. Kutatási eredmények

Egy nemlineáris modellben szereplő ismeretlen komponensek és paraméterek **identifikálhatóságának elemzése** adott méréseket feltételezve olyan elméleti feladat, ami minden identifikációs eljárás elsődleges lépése. Az identifikációs feladat úgynevezett szürke doboz (grey-box) modell konstruálására vezet, mivel ebben a modellben az ismert struktúra és az ismert paraméterek figyelembe vehetők. [10]

A nemlineáris modell ismeretlen komponenseinek meghatározását illetve a becsült paraméterek bizonytalanságának behatárolását a szakirodalomban nyomon követhető eddigi eredmények főleg diszkrét idejű rendszerek esetében vizsgálják, míg a folytonos idejű identifikáció terén lineáris időinvariáns rendszerekre és speciális autoregressziós struktúrával adott rendszerekre vannak eredmények. A **grey-box paraméterbecslési probléma** megoldása lényegében egy alkalmas optimalizációs feladat keretein belül tárgyalható, aminek gyakorlati megoldása általában olyan iterációs eljárásokat eredményez, melynek konvergencia tulajdonságairól az adott kontextusban keveset tudunk.

Jelentős gondot okoz, hogy a folytonos nemlineáris modell ismeretlen paramétereit **mintavételezett jelek** alapján kell becsülni, valamint az, hogy a modell kezdeti értékei nem ismertek. A **kezdeti érték** nem ismert volta egyrészt megnöveli az identifikálhatósági kérdések komplexitását, másrészt megnehezíti olyan szimulációs eredmények előállítását, amire támaszkodva módszer adható az ismeretlen paraméterek (amik közé esetleg az ismeretlen kezdeti értékek is tartoznak) meghatározására. [10,18]

Kutatásaink során a folytonos idejű **lineáris változó paraméterű (LPV) modelleken** alapuló szürkedoboz (grey-box) paraméterbecslési probléma megoldására fókuszáltunk különös tekintettel olyan kérdések megválaszolására, mint az ismeretlen kezdeti érték által okozott bizonytalanság kiküszöbölése vagy a mintavételezési idő hatása az identifikációs eljárás konvergenciájára. A folytonos idejű szürke doboz modell ismeretlen paramétereinek becslésére egy megfigyelő alapú identifikációs módszert javasoltunk, ami a kezdeti értékek becslésében lévő hibákra kevésbé érzékeny [2].

3. Alkalmazott kutatási eredmények

Egy speciális nemlineáris modellosztályt alkotnak az ún. **Wiener típusú modellek**. Kutatásainkat kiterjesztettük ezen modellek identifikációjára és az identifikált modell irányítási célú felhasználására [5].

Egyik alkalmazási példaként a Paksi Atomerőműben megvalósított **primerköri nyomásszabályozó rendszer** korszerűsítése szolgált. A szabályozási feladat a primerköri nyomás állandó 123 bar körüli értéken tartása. A szűrkedoboz identifikációs módszerek fontos szerepet játszottak a nyomásszabályozó rendszer modellezésében, illetve ezen keresztül a modell alapú irányítás tervezésében. Az általunk tervezett és megvalósított új szabályozó algoritmussal sikerült a korábban kb. 1 bar-os tartományban ingadozó primerköri nyomást stabilizálni, ami így az erőmű lüktető üzeme mellett is csak egy negyed bar-on belül marad. A kialakított szabályozási sémával sikerült megmutatni, hogy a nagy megbízhatóságú matematikai modellek valamint a modern szabályozótervezési módszerek együttes alkalmazásával olyan minőségi javulás érhető el, amely alapvető technológiaváltás nélkül is lehetővé teszi a rendszer hatékonyabb működtetését [8].

A kutatás további, nem elhanyagolható célja volt, hogy a kidolgozandó alapkutatási eredményeket mint az identifikálhatóságra és konvergencia identifikáló eljárásokra vonatkozó vizsgálatokat a **járműdinamikai alkalmazások speciális igényei** által meghatározott feladatok megoldása során hasznosítsuk. Itt elsősorban rendszer irányítási célú folytonos idejű nemlineáris modellek megadása és ismeretlen komponenseinek identifikálása állt a kutatások középpontjában.

A járműirányítási és a folyamatirányítási alkalmazásokban felmerülő speciális gyakorlati feladatok megoldására paraméterbecslési módszereket dolgoztunk ki és az így becsült paramétereket irányítási algoritmusok tervezése során használtuk fel.

Egy további fontos alkalmazási terület volt a **vasúti járművek csúszásmentes fékezésére** irányuló kísérlet. A szabályozó tervezés ezen a területen nem tekinthető egy szokványos rutinszerű feladatnak. A hagyományos, és a járműiparban elfogadott, megszokott eljárások nem alkalmazhatók, a fékezési folyamat számtalan bizonytalanságot tartalmazó bonyolult nemlineáris folyamat. A tervezést megelőzően alapos elméleti előkészítés zajlott le, amely keretein belül elsajátítottuk a szakterülethez tartozó alapfogalmakat, értékeltük a szakirodalomban fellelhető matematikai modelleket és az

eddigiekben alkalmazott módszereket, majd felépítettük saját modellünket. A vizsgálatok során kiderült, hogy a rendszer szabályozásának sarkalatos pontja az aktuális kerék-sin kapcsolatot jellemző tapadási tényező becslése. A tapadási tényezőt igen sok tényező befolyásolja, a hely és idő függvényében változik, sem fizikai összefüggések alapján meghatározni, sem pedig megmérni egyértelműen nem lehet, csak becslése jöhet szóba. A tapadási tényező becslését nagy mértékben javítja a kerekek relatív csúszásának (slip vagy creep) minél pontosabb ismerete, amely a kerékfordulatszámok mellett a kerekek tengelysebességének mérésével lehetséges. A kutatások során sikerült olyan – a szabályozással párhuzamosan működő – eljárást találni a tapadási tényező becslésére, amely akkor is működik, ha a tengelysebesség mérésére nincs lehetőség [11,16,17].

Kutatásainkban a **közúti járművekkel kapcsolatos modellezés és identifikáció** fontos szerepet játszott. A járművekben többféle, egymástól többé-kevésbé függetlenül működő aktív rendszert alkalmaznak különböző irányítási feladatok megoldására. Ezek az irányítási rendszerek többféle hardver elemet tartalmaznak, így szenzort, beavatkozót, kommunikációs csatornát, meghajtást, kapcsolót, mikroprocesszort. A hagyományos járműirányítási rendszerekben az irányítási funkciókat egymástól függetlenül tervezik és realizálják. Ezek a megoldások általában szükségtelen hardver redundanciákhoz vezethetnek. Az integrált irányítás tervezésének célja a különböző irányítási feladatokat ellátó rendszerek összehangolása, ami szükségszerűen magas komplexitású modellhez vezet. Ez egyrészt annak közvetlen következménye, hogy a modell konstruálásakor a jármű különböző dinamikai mozgásait figyelembe kell venni, másrészt az irányítás tervezésének definiálásakor általában nagyszámú minőségi előírást kell teljesíteni, ami az irányítástervezés alapjául szolgáló modell minőségi kimeneteinek számát növeli.

A járműdinamika általános nemlineáris modelljéből bizonyos ésszerű egyszerűsítő feltételezésekkel élve kapjuk az egyes részrendszerek egyedi lineáris illetve kvázi-lineáris modelljeit. Ebben a szakaszban az LPV modellezési paradigmának kiemelkedő szerepe van. Az LPV modellezés előnye, hogy a nemlineáris rendszerek teljes működési tartományát egy lineáris modellel nagy pontossággal leírja. Az egyes LPV modellekben szereplő ütemezési változók megválasztásakor a mérési lehetőségek a majdani irányítástervezés igényei egyaránt figyelembe vehetők. Az irányítástervezésben a mechanikai elvek alapján konstruált modellt minőségi specifikációkkal és bizonytalanságokkal egészítjük ki. A minőségi specifikációk általában konfliktusban állnak egymással, azaz valamely minőségi tulajdonság javítása egy másik minőségi tulajdonság rovására történik. Ezért az irányítástervezés megfogalmazása során a minőségi specifikációk között kompromisszumot kell keresni [4,7,9].

A modell bizonytalanságát a modellezésben szükségképpen alkalmazott elhanyagolások és a modell paramétereinek pontatlan ismerete okozza. A mechanikai modell paraméterei a normál üzem során akár rövid idő alatt is megváltozhatnak és általában hosszabb időtávlatban meg is változnak. A kidolgozott módszereket felfüggesztési rendszer ismeretlen paramétereinek becslésére alkalmaztuk, mégpedig a felfüggesztés rugalmasságát jellemző rugóállandójának és csillapításának becslésére valamint a keréktömeg rugóállandójának becslésére. [2,18]

A minőségi specifikációt reprezentáló jelekre és a modell illetve paraméter bizonytalanságokra az irányítástervezés érdekében frekvencia tartományban megfogalmazott súlyozást alkalmazunk [23,24].

Az **integrált irányítás tervezésének** egyik módja az, hogy az egyes irányítási rendszerkomponensek a többi funkcióra való hatását és más irányításokkal való kölcsönhatását már a tervezés során figyelembe vesszük. Ebben a megoldásban nehézséget okoz a tervezés alapjául szolgáló általában nemlineáris modell komplexitása, a tervezés során figyelembe veendő minőségi specifikációk nagy száma, továbbá a beavatkozók működéséből adódó korlátozások. Az integrált irányítás tervezésének másik, a gyakorlatban könnyebben terjedő módszere a felsőszintű irányítási platformok megfelelő megtervezése. Ebben az esetben az integrált irányítási rendszer feladata kombinálni és felügyelni a meglévő irányítási alrendszerek járműdinamikára való hatásait.

Az általunk vizsgált alkalmazási példákban kiemelkedő szerephez jutott az aktív fékezés alkalmazása közúti járművek esetén. Ebben a kontextusban az oldalirányú tapadási tényező, valamint a normalizált oldalirányú kerékterhelés ismerete döntő fontosságú. Mivel ezek a mennyiségek közvetlenül nem mérhetőek, a működés során alkalmas eljárásokkal megbízható becslésük elengedhetetlen feltétele a kidolgozott irányítási eljárások implementálhatóságának. Ezen a területen eljárásokat dolgoztunk ki ezen mennyiségek modell alapú becslésére és integrált irányítási sémák tervezésére. [1,3,12,14]

Az identifikációs feladattal összhangban aktív komponenseket alkalmazó **hibatűrő integrált irányítási struktúrát** dolgoztunk ki járműirányítási feladatok megoldására. Az irányítástervezés célja, hogy normál üzem esetén az aktív felfüggesztés az utazási kényelmet és az úttartást biztosítsa, az aktív keresztstabilizátor a borulási kockázatot csökkentse, míg a fék a stabilitásvesztés szempontjából kritikus esetben aktivizálódik. Hibatűrő irányítás elérése érdekében a hibainformációt egy súlyozási stratégiával illesztettem az irányítás tervezésébe [7,15,19,20,21,22].

4. Hasznosíthatóság

A kutatási eredmények egy részét hasznosíthatóknak hisszük. Ezek felsorolásszerűen a következők:

- A kutatási eredmények közül mind a grey-box identifikációt, mind a nemlineáris modell alapú irányítástervezést a Paksi Atomerőmű primerköri nyomásszabályozó rendszerének tervezése során felhasználtuk.
- Egy további fontos alkalmazási terület volt a vasúti járművek csúszásmentes fékezésére irányuló kísérletek. A kutatások során sikerült olyan – a szabályozással párhuzamosan működő – eljárást találni az aktuális kerék-sín kapcsolatot jellemző tapadási tényező becslésére.
- Kutatásainkban a közúti járművek aktív fékezésének tervezésével kapcsolatos modellezés és identifikáció is fontos szerepet játszott. Ebben a kontextusban az oldalirányú tapadási tényező, valamint a normalizált oldalirányú kerékterhelés ismerete döntő fontosságú. Eljárásokat dolgoztunk ki ezen mennyiségek modell alapú becslésére és integrált irányítási sémák tervezésére.

A vasúti és közúti irányítástervezéssel kapcsolatos javaslataink járműipari hasznosíthatóságával kapcsolatban a nagyszámú külső tényező miatt nehéz értékelést adni.

5. A projekt értékelése

Az elvégzett munka összhangban áll a munkatervben tervezettekkel.

Gáspár Péter feladata volt nemlineáris modell szürkedoboz identifikálhatóságának elemzése, szürkedoboz identifikációs módszerek kidolgozása és a módszerek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata. A projekt eredményeinek publikálásában fontos szerepet játszott. Továbbá irányította a projektet, valamint megírta az összefoglalókat és a beszámolókat.

Szabó Zoltán meghatározó szerepet vállalt a projektben. Feladata a szürkedoboz identifikációs módszerek kidolgozásában és az identifikált paraméterek bizonytalanságának becslésében. Elméleti eredményeit fontos cikkekben foglalta össze.

Kuti István feladata a járműdinamikai rendszerek irányítási feladatai által igényelt nemlineáris modellek vizsgálatában volt. A modellezésben és a szimulációs elemzésekben alkalmazott végeelem módszerek alkalmazásában fontos szerepet töltött be. Publikációkat készített és előadásokat is tartott.

Varga István feladata volt a módszerek numerikus eljárásainak kidolgozása, valamint a szürkedoboz identifikációs módszerek közötti irányítási rendszerekben való alkalmazásának vizsgálata. A primerköri nyomásszabályozó rendszer elemzésében és modellezésében fontos szerepet játszott.

A kutatásban résztvevők száma kibővült. A kutatócsoportba 2006-ban bevontuk Rödönyi Gábort, az MTA SZTAKI munkatársát is. Szerepe kezdetben a járműdinamikai szimulációs vizsgálatokban, később valós járműdinamikai kísérletekben való részvétel volt.

Két fiatal kutató – Koleszár Péter és Balogh Levente, mindketten a BME Gépjárművek Tanszék oktatói és PhD hallgatói - fontos szerepet kaptak a kutatásokban, mégpedig a valós járműkísérletek előkészítésében. A vasúti járműveken alkalmazható csúszásmentes fékezés szürkedoboz modellezésének előkészítésében is részt vettek. Sajnos időközben mindketten egy ipari fejlesztőcégnél vállaltak részfeladatokat, így az OTKA kutatásban való aktív részvételük valamelyest csökkent. Ugyanakkor nagy szerepük volt abban, hogy a valós járműkísérletek megtörténtek és a mért adatok a kutatási módszerek tesztelése céljából rendelkezésre álltak.

A kutatási eredményekről összesen 37 publikációt készítettünk, melyek közül 5 cikk folyóiratban már megjelent, 19 cikk konferencias előadáson már szerepelt. A további 13 publikáció közül hatot már közlésre elfogadtak, mégpedig közülük kettő folyóiratban fog megjelenni. A beküldött cikkek közül négyet folyóiratban szeretnénk megjelentetni. Az elfogadott és megjelenés alatt álló cikkekre a publikációs listában a * jelölést alkalmaztuk.

A kutatási eredményeket különböző konferenciákon tartott előadásokban mutattuk be: Conference on Decision and Control [4], American Control Conference [12,14], European Control Conference [16,19,23], Mediterranean Control Conference [2,3,5], IFAC World Congress [1], Robust Control Design [10], Symposium on Mechatronics Systems [15], IAVSD Symposium [21], Symposium on Advances in Automotive Control [20]. A nemzetközi konferenciákon lehetőségünk volt modell alapú a nemlineáris irányítási rendszerek analízisének és tervezésének aktuális eredményeit megismerni és várható fejleményeiről tájékozódni. Több cikkünket elfogadták publikálásra az IFAC World Congress kongresszuson [1*,2*,4*]. Az elért eredményeket szakmai folyóiratokban -- Control Engineering Practice [4**], Vehicle System Dynamics [6*], Mechatronics, Int. J. of Vehicle Design [6,7,9,6**], Int. J. Vehicle Autonomous Systems [2**], Int. J. Vehicle Systems Modelling [18], Transactions on Control Systems and Technology [5**] – megjelent, illetve beküldött publikációkban foglaltuk össze.

6. Kooperáció

Nemlineáris rendszerek irányítási célú identifikációja területén sikerült együttműködést kialakítani több nemzetközi kutatóhellyel, így a

- Laboratoire d'Automatique de Grenoble-vel;
- Université de Haute Alsace, Laboratoire MIPS, Mulhouse-zal;
- Department of Aerospace Engineering, University of Minnesota-val.

Ezt közös publikációk mutatják, továbbá felmerült a közös pályázatokban való megjelenés igénye is. A Laboratoire d'Automatique de Grenoble laboratórium kutató munkatársaival igen hatékonyan tudtunk együtt dolgozni, amit nagyszámú publikációs tevékenységünk is mutat [21,22,4*,6*,4**,5**]. A Department of Aerospace Engineering, University of Minnesota laboratóriummal 2008-as évben közös pályázatot kívánunk benyújtani az US-ben. A Université de Haute Alsace, Laboratoire MIPS laboratórium közös EU-s pályázatban gondolkodunk.

A projekt költségeinek felhasználása alapvetően azonos volt az eredetileg tervezett költségfelhasználással. Az OTKA kutatási alap segítségével sikerült konferenciákon megjeleneni és azokon előadásokat tartani, a kutatás szempontjából fontos szakirodalmat sikerült beszerezniük. .

Végezetül még egyszer megköszönjük, hogy az OTKA kutatási alap három éven keresztül komolyan hozzájárult az identifikációs célú kutatásainkhoz.

PUBLIKÁCIÓK

2005

- [1] GÁSPÁR, P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Brake control combined with prediction to prevent the rollover of heavy vehicles, *IFAC World Congress, Praha, 2005.*
- [2] GÁSPÁR, P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Gray-box continuous-time parameter identification for LPV models with vehicle dynamics applications, *13th Mediterranean Conference on Control and Automation, Limassol, Cyprus, 2005.*
- [3] GÁSPÁR, P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Prediction based combined control to prevent the rollover of heavy vehicles, *13th Mediterranean Conference on Control and Automation, Limassol, Cyprus, 2005.*

- [4] GÁSPÁR, P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, The design of an integrated control system in heavy vehicles based on an LPV method, *Conference on Decision and Control and European Control Conference*, Seville, Spain, 2005.
- [5] SZABÓ, Z., P. GÁSPÁR, J. BOKOR, Reference tracking for Wiener systems using dynamic inversion, *13th Mediterranean Conference on Control and Automation*, Limassol, Cyprus, 2005.

2006

- [6] GÁSPÁR P., I. KUTI, The dynamic modeling of road vehicles for the numerical verification of active suspensions, *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 40, No. 1-2-3, pp. 36-51, 2006.
- [7] GÁSPÁR P., J. BOKOR, A fault-tolerant rollover prevention system based on an LPV method, *International Journal of Vehicle Design*, 2006.
- [8] SZABÓ, Z., GÁSPÁR, P., J. BOKOR, Tracking Design for Wiener Systems Based on Dynamic Inversion, *Conference CCA/CACSD/ISIC*, Munich, 2006.
- [9] GÁSPÁR, P., I. SZÁSZI, J. BOKOR, Rollover stability control in steer-by-wire vehicles based on an LPV method, *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, Vol. 13, No. 1/2, pp.125–143, 2006.
- [10] GÁSPÁR, P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Continuous-Time Parameter Identification for LPV Models Using Adaptive Observers, *Robust Control Design*, Toulouse, 2006.
- [11] GÁSPÁR, P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Observer Based Estimation of the Wheel-Rail Friction Coefficient, *Conference CCA/CACSD/ISIC*, Munich, 2006.
- [12] GÁSPÁR, P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Side force coefficient estimation for the design of active brake control, *American Control Conference*, Minneapolis, 2006.

2007

- [13] GÁSPÁR P., G. SZEDERKÉNYI, Combined LPV and nonlinear control of an active suspension system, *ISIE Int. Symposium on Industrial Electronics*, 2007.
- [14] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, A grey-box identification of an LPV vehicle model for observer-based side slip angle estimation, *American Control Conference*, 2007.
- [15] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, A grey-box identification of an LPV vehicle model with side slip angle estimation, *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Zurich, 2007.
- [16] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Brake control using an estimation of the wheel-rail friction coefficient, *European Control Conference*, Kos, 2007.
- [17] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Observer-Based Brake Control for Railways, NOLCOS, Pretoria, South Africa, 2007.
- [18] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Parameter Identification of a Suspension System and Road Disturbance Estimation, *International Journal for Vehicle Systems Modeling and Testing*, 2007.

- [19] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, Tracking control by integrated steering and braking systems using an observer-based estimation, *European Control Conference*, Kos, 2007.
- [20] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ. J. BOKOR, POUSSOT-VASSAL, C., O. SENAME, L. DUGARD, Towards global chassis control integrating the brake and suspension systems, 5th IFAC Symposium on Advances in Automotive Control, Monterrey, 2007.
- [21] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ. J. BOKOR, POUSSOT-VASSAL, C., O. SENAME, L. DUGARD, Global chassis control using braking and suspension systems, 20th IAVSD Symposium, Berkeley, 2007
- [22] POUSSOT-VASSAL, C., O. SENAME, L. DUGARD, P. GÁSPÁR, Z. SZABÓ. J. BOKOR, An LPV based semi-active suspension control strategy, Symposium on System Structure and Control, Iguassu Falls, Brazil, 2007.
- [23] RÖDÖNYI, G., P. GÁSPÁR, J. BOKOR, Vehicle stability enhancement by a robust cascade control of the brake system, *European Control Conference*, Kos, 2007.
- [24] RÖDÖNYI, P. GÁSPÁR, Modeling for vehicle stability enhancement, *Periodica Polytechnica*, 2007.

RIPORTOK

- [1+] KUTI, I., GÁSPÁR P., Robust control design based on finite element models, Kutatási jelentés, OTKA riport, Budapest, 2006.
- [2+] KUTI, I., GÁSPÁR P., Finite element modelling for stress analysis of active suspension systems, OTKA riport, Budapest, 2007.
- [3+] RÖDÖNYI G., BALOGH L., KOLESZÁR P, Valós járműkísérletek, OTKA riport, Budapest, 2007.

ELFOGADOTT PUBLIKÁCIÓK

- [1*] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, The design of a fault-tolerant vehicle control system, IFAC World Congress, Seoul, Korea, 2008.
- [2*] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, The design of a two-level controller for suspension systems, IFAC World Congress, Seoul, Korea, elfogadva, 2008.
- [3*] POUSSOT-VASSAL, C., O. SENAME, L. DUGARD, P. GÁSPÁR, Z. SZABÓ. J. BOKOR, The design of a chassis system based on multi-objective qLPV control, elfogadva, *Periodica Polytechnica*, elfogadva, 2008.
- [4*] POUSSOT-VASSAL, C., O. SENAME, L. DUGARD, P. GÁSPÁR, Z. SZABÓ. J. BOKOR, Attitude and Handling Improvements Through Gain-scheduled Suspensions and Brakes Control, IFAC World Congress, Seoul, Korea, elfogadva, 2008.
- [5*] RÖDÖNYI, G., P. GÁSPÁR, The design of a brake control to improve road holding, *Periodica Polytechnica*, elfogadva, 2008.

[6*] ZIN, A., O. SENAME, P. GÁSPÁR, L. DUGARD, J. BOKOR, An LPV/Hinf Active Suspension Control for Global Chassis Technology: Design and Performance Analysis, Vehicle System Dynamics, elfogadva, 2007.

BENYÚJTOTT PUBLIKÁCIÓK

[1**] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, G. SZEDERKÉNYI, J. BOKOR, Two-level controller design for an active suspension system, 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, Ajaccio, benyújtva, 2008.

[2**] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, The design of a fault-tolerant vehicle control system, Journal of Vehicle Autonomous Systems, benyújtva, 2008.

[3**] GÁSPÁR P., Z. SZABÓ, J. BOKOR, The design of a reconfigurable suspension control an FDI filter, 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, Ajaccio, benyújtva, 2008.

[4**] POUSSOT-VASSAL, C., O. SENAME, L. DUGARD, P. GÁSPÁR, Z. SZABÓ. J. BOKOR, A New Semi-active Suspension Control Strategy Through LPV Technique, Control Engineering Practice, benyújtva, 2007.

[5**] POUSSOT-VASSAL, C., O. SENAME, L. DUGARD, P. GÁSPÁR, Z. SZABÓ. J. BOKOR, Integrated Global Chassis Control Through Gain-scheduled Suspensions and Brakes Control, IEEE Transactions on Control Systems Technology, benyújtva, 2008.

[6**] RÖDÖNYI, G., P. GÁSPÁR, J. BOKOR, The emergency steering of a heavy truck by front-wheel braking, benyújtva, International Journal of Vehicle Design, 2008.

[7**] RÖDÖNYI, G., P. GÁSPÁR, Z. SZABÓ, J. BOKOR, Uncertainty remodeling for robust control of linear time-invariant plants, 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, Ajaccio, benyújtva, 2008.