

MTA-BME GÉPEK ÉS JÁRMŰVEK DINAMIKÁJA KUTATÓCSOPORT

STÉPÁN GÁBOR, az MTA rendes tagja

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5.

Tel: 463-1369, Fax: 463-3471, E-mail: stepan@mm.bme.hu

<http://www.mm.bme.hu/~gjd>

2015. évi tudományos beszámoló

I. A kutatóhely fő feladatai 2015-ben

A kutatócsoportban végzett munka az öt éves kutatási tervben vázolt feladatokkal folytatódott a beszámolási évben. A *közlekedés biztonságának növelése* témakörben a **kerék-talaj kapcsolat** vizsgálatához előirányzott kísérleteket készítették elő a kutatók. Gumikerék modelleken végzett szimulációk segítségével meghatározták azon paramétertartományokat, melyekben kísérletek végezhetőek a kontakt tartományban lezajló csúszások vizsgálatára. A kutatási tervből forráshiány miatt kimaradt témák művelése helyett egy gyakorlatiasabb téma, a **két forgórészes rezgéskeltő** kifejlesztése kezdődött el 2012-ben. A 2015-ben végzett kutatómunka három fő feladata a berendezés kísérleti stabilitásvizsgálatának elvégzése és a szabályozó algoritmus továbbfejlesztése, valamint az aszinkron mozgások analitikus stabilitásvizsgálata volt. Az elért eredmények ígéretesek, úgy elméleti, mint kísérleti vonalon. A **száraz súrlódású oszcillátorral** kapcsolatos fő feladat a nem sima bifurkációk analízise volt. A kutatási cél megvalósult, sikerült kimutatni, hogy milyen bifurkáció vezet aszimmetrikus megoldásokhoz. A *robotok és számítógéppel szabályozott gépek dinamikája* témakörben fontos feladat volt a sok szabadsági fokú, úgynevezett **többszempontú dinamikai rendszerek** hatékony szimulációs és szabályozási módszereinek feltárása, fejlesztése és alkalmazása. Számos olyan eredmény született, melyeket az alulaktuált robotok és az emberi járás és futás témakörében sikerült alkalmazni. Megvalósult az a korábban megfogalmazott cél az **alulaktuált robotok** mozgásszabályozásával kapcsolatban, hogy a robot dinamikáját minél jobban ki lehessen használni. A **digitális szabályozási problémák** kapcsán egy digitális szabályozású fékberendezés modellezése szintén a munkatervvel összhangban valósult meg. Emellett a kutatócsoport két tagja is sikeresen megvédte PhD dolgozatát.

II. A 2015-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények. A *közlekedés biztonságának növelése* témakörben a **gumikerék** érintkezési tartományában lejátszódó csúszások hatékony számításával kapcsolatban ígéretes eredményeket értek el a kutatók. A csúszás szokványos módon való számítása általános esetben ellehetetleníti a kontakt tartomány ún. memóriahatásának figyelembevételét. Ebben az esetben ugyanis a deformációkat leíró matematikai formulák nem egyszerűsíthetők. A kutatók a végzett szimulációs eredményeket megvizsgálva arra a következtetésre jutottak, hogy a gyakorlat számára érdekes paraméterek esetén az érintkezési tartomány elején és végén jön létre csúszási zóna. Ezen zónák csúszásának vizsgálatára egyszerűbb megoldást állítottak elő, így sikerült leírniuk a csúszási jelenséget a memóriahatás figyelembevétele mellett, amivel gyors és hatékony szimulációs kódot tudtak kifejleszteni. A vontatmányok kanyarodás közbeni stabilitását is tovább vizsgálták. Stabilitási térképek és bifurkációs diagramok segítségével kimutatták, hogy található egy kritikus arány a kerék felfüggesztés hossz- és keresztirányú merevsége között. Ezen kritikus arány mellett válik a kerék a legérzékenyebbé a külső zavarásokkal szemben. A kritikus merevségi arány ismerete jól hasznosítható a vontatott kerekek (pl. akár babakocsik önbeálló kerekeinek) tervezésekor.

A **gerjesztett száraz súrlódású oszcillátor** vizsgálatára kifejlesztett kísérleti berendezés elkészült, a hozzá tartozó meghajtó motor beszerzése folyamatban van. A vizsgált rendszer sajátossága, hogy bizonyos szimmetrikus megoldások stabilitásvesztése után aszimmetrikus megoldások jelennek meg egyes paramétereknél. A megtalált megoldás típusok közötti nem sima átmenet miatt tisztázásra várt, hogy hogyan keletkeznek az aszimmetrikus megoldások. A beszámolási évben a lehetséges megoldás szakaszok megfelelő osztályozásával ún. követő algoritmust sikerült alkalmazni, amivel a kutatók kimutatták, hogy az aszimmetrikus megoldások ún. crossing-sliding bifurkáció során keletkeznek, majd egy nyereg-csomó bifurkáció után válnak stabilá – ez magyarázza a váltást a két megoldás típus között.

A **két forgórészes rezgéskeltővel** kapcsolatosan több irányban is folytak kutatások 2015-ben. A korábbi analitikus és numerikus eredmények igazolására végzett kísérleti stabilitásvizsgálat egyrészt alátámasztotta az eddigi eredményeket, másrészt felvetett újabb izgalmas kérdéseket is. Eddig ugyanis azok a mozgások voltak a stabilitásvizsgálat előterében, amikor a két forgórész mozgása szinkronizálódott. A mérések viszont felvetették a nem szinkronizálódott mozgások kapcsán is, hogy bizonyos körülmények között stabilak lehetnek. Kiderült, hogy van egy olyan paraméter tartomány, ahol mindkét féle mozgás előfordulhat. A kísérletek arra is rámutattak, hogy a kifejlesztett szabályozó teljesítményét szükséges javítani. Ez az alkalmazott controller cseréjével és a szabályozó algoritmus fejlesztésével valósult meg. Ez utóbbi cél érdekében numerikus vizsgálatokat végeztek a kutatók a Kálmán-szűrő alkalmazhatóságáról és kifejlesztettek egy egyszerű modellt, amivel a szabályozás során a rendszer állapota becsülhető. Elkezdődött a térbeli mozgások vizsgálata is. A cél annak kimutatása, hogy a térbeli mozgások közben bonyolult szinkronizációs jelenségek játszódhatnak le az eszköz rögzítésétől és tehetetlenségi paramétereitől függően.

A *robotok és számítógéppel szabályozott gépek dinamikája* témakörben folytatódott az **alulaktuált robotok** vizsgálata. Ezek a rendszerek általában kis súlyúak és a mozgás során nagy sebesség elérésére képesek. Az ilyen robotalkalmazások elterjedése egyre szélesebb körű, azonban az ipari alkalmazásukban nem történt még áttörés. Ahhoz, hogy ez az áttörés megtörténjen és ezek a robotok az iparban is biztonságosan használhatóak legyenek, elkerülhetetlen megfelelő szabályozási stratégiák kidolgozása. A kitzűzött kutatási tervnek megfelelően, a kutatócsoport továbbfejlesztette a korábban kidolgozott periodikus szervó kényszerek módszerét. A módszer kiterjesztésre került arra az esetre is, amikor a rendszer valamely beavatkozója már nem képes előállítani a megfelelő bemenetet, azaz szaturáció lép fel. Az elméleti módszerek kísérleti ellenőrzése is megkezdődött. A kutatási terven felül kidolgozásra került egy új eljárás is, mellyel a rendszer akkor is szabályozható marad, ha az úgynevezett belső dinamikája instabil tulajdonságokkal rendelkezik.

Az **emberi járás és futás** biomechanikai elemzése fontos a mozgásszabályozó szervek működésének megértése szempontjából. Emellett a teljesítmény és az energiahatékonyság javítását elősegítő eredmények hasznosíthatóak a sportolók számára. Továbbá a sérülések kockázatának csökkentése miatt is fontos a járás és futás biomechanikájának pontos megértése. A kutatócsoport kutatásainak eredményeképpen a szakirodalomban található, az emberi járás és futás vizsgálatára szolgáló egyszerűsített biomechanikai modellek felülvizsgálata és kiegészítése történt meg. A továbbfejlesztett modell sokkal jobban illeszkedik a valóságban tapasztalható jelenségekhez. Kidolgozásra került egy módszer, amely alkalmazható a modell kísérleti validációjára. Ennek kapcsán egyszerűsített biomechanikai modellek mérésrel történő validációja is elkezdődött. Nagyszámú kísérlet elvégzése történt meg a lehető legszélesebb paramétertartományon. A mérési eredmények jó egyezést mutattak a biomechanikai modellek által megjósolt eredményekkel. Az eredmények a passzív lépegető robotoknál szerzett tapasztalatokkal is egyeznek, így általános következtetések vonhatók le az emberi és a kétlábú robotokkal megvalósított helyváltoztatással kapcsolatban.

A **digitális szabályozások** kis amplitúdójú kaotikus rezgésekhez vezethetnek. A beszámolási

évben a terveknek megfelelően elkészült az ilyen rendszerek vizsgálatát megkönnyítő, ún. általánosított cella-leképezést megvalósító program. Összevetve a korábban alkalmazott egyszerű cella-leképezéssel, elmondható, hogy az új algoritmussal olyan struktúrák is megtalálhatók a fázistérben, amik korábban rejtve maradtak. A kialakuló kaotikus rezgések amplitúdójának és a szabályozási hibának a kapcsolatát is megvizsgálták a kutatók. Részletes numerikus és analitikus vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a szabályozási hibára egyszerű becslés adható, a korábban gondoltnál szélesebb paraméter tartományban. A kutatás egyik legfontosab eredménye, hogy összefüggés mutatható ki a fázistérbeli struktúrák jellege és bizonyos mátrixok sajátértékei között, ami megkönnyíti a módszer általánosítását több dimenziós esetekre. Az elméleti eredményeket egy egyszerű fékmodell vizsgálatára is sikerült alkalmazni, ahol periodikus pályára szuperponálódó kaotikus rezgések alakultak ki.

b) Tudomány és a társadalom. A mérnöki tudományok, iránti érdeklődés felkeltése érdekében a kutatócsoport vezetőjével készített interjúban látványosan megjelentek a kutatócsoport kerékdinamikai eredményei a közszolgálati adó Minden tudás című műsorában. A kutatócsoport tagjai aktívan részt vesznek a BME-n szervezett nyílt napokon is. A kutatási témák közül leginkább a két forgórészes rezgéskeltő eszköz alkalmas látványos mechanikai jelenségek bemutatására. Emellett a járás és futás tanulmányozása tarthat számot széles körű érdeklődésre, mert szükség van arra, hogy tudományosan alátámasztott instrukciók segítsék az embereket a sérülések és káros hatások nélküli sportolásban.

III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2015-ben

- *Új felsőoktatási kapcsolat:* Southeasth University Nanjing, Semmelweis Egyetem
- *Nemzetközi konferenciák szervezése:* 2015-ben folytatódott az ENOC 2017 (European Nonlinear Dynamics Conference) konferencia szervezése.
- *Új ipari kapcsolatok:* Siemens Zrt.

IV. A 2015-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

A kutatócsoport korábban elnyert pályázatainak futamideje még nem járt le 2015-ben.

V. A 2015-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

- Giuseppe Habib, Akos Miklos, Eniko T. Enikov, Gabor Stepan, Giuseppe Rega: Nonlinear model-based parameter estimation and stability analysis of an aero-pendulum subject to digital delayed control. International Journal of Dynamics and Control (2015), pp. 1-15. <http://dx.doi.org/10.1007/s40435-015-0203-0>
- Ákos Miklós, Zsolt Szabó: Simulation and experimental validation of the dynamical model of a dual-rotor vibrotactor. Journal of Sound and Vibration 334(2015), pp. 98-107. <http://real.mtak.hu/21019>
- Kuti József, Galambos Péter, Miklós Ákos: Output Feedback Control of a Dual-Excenter Vibration Actuator via qLPV Model and TP Model Transformation. Asian Journal of Control 17/4(2015), pp. 1-11. <http://eprints.sztaki.hu/8015>
- László Bencsik, Ambrus Zelei: A study on the effect of human running cadence based on the bouncing ball model, In: Ian Awrejcewicz (szerk.) Dynamical Systems Mechatronics and Life Sciences. Lodz, Poland, Lengyelország, 2015.12.09-2015.12.12. pp. 47-55. http://www.mm.bme.hu/~zelei/zelei_pub/bencsik_2015_DSTA_LIF99.pdf
- Sándor Beregi, Dénes Takacs, Gábor Stepan, David Barton: Stability analysis of the car-trailer system with a time-delayed tyre model In: IAVSD Proceedings of the 24th International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks. Konferencia helye, ideje: Graz, Ausztria, 2015.08.17-2015.08.21. Graz: Paper 46.5. <http://real.mtak.hu/26896/>