

# 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](mailto:stepan@mm.bme.hu)

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

## 2016. évi tudományos beszámoló

### I. A kutatóhely fő feladatai 2016-ban

A kutatócsoportban végzett munka az öt éves kutatási tervben vázolt feladatokkal folytatódott a beszámolási évben. A *robotok és számítógéppel szabályozott gépek dinamikája* témakörben a kutatócsoport céljai között szerepelt a többtest-dinamikai rendszerek, például **alulaktuált robotok** szimulációs és szabályozási módszereinek fejlesztése és alkalmazása. A kifejlesztett eljárás már lehetővé teszi a valós idejű szabályozást. Mivel az eredményeket az emberi járás és futás biomechanikájának témakörében is sikerült alkalmazni, 2016-ra a korábbiak mellett további kísérleteket terveztek és valósítottak meg a kutatók a talaj-láb ütközéssel és az emberi mozgástervezési stratégiákkal kapcsolatban. A **digitális szabályozási problémák** kapcsán a tetszőleges méretű problémára alkalmazható hibabecslési módszer kidolgozása a munkatervvel összhangban valósult meg. A *közlekedés biztonságának növelése* témakörben a kutatók az előirányozottnak megfelelően véglegesítették a **gumikerék gördülésének** vizsgálatához épített kísérleti berendezést és egy numerikus módszer segítségével kijelölték a mérésre leginkább alkalmas paramétertartományokat. A **száraz súrlódású rendszerek** vizsgálata kapcsán a kutatómunka a mechanikai érintkezés jellemzése – elsősorban a testek közötti normálerő eloszlásának kísérleti vizsgálata – irányába tolódott el. A **két forgórészes rezgéskeltő** berendezés kutatása során egy olyan eszköz kifejlesztése volt a cél, amellyel a piacon lévőkhöz képest új funkciók valósíthatók meg, például rezgések keltése független amplitúdó és frekvencia mellett, széles frekvenciatartományban. Emellett a mechanikai szinkronizáció és a teljesítményrezonancia jelensége állt a vizsgálatok előterében.

### II. A 2016-ban elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

**a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények.** A *robotok és számítógéppel szabályozott gépek dinamikája* témakörben folytatódott az emberi, és általában a lábakon történő **járás és futás** vizsgálata. A futás jellegétől függően erős ütközések jöhetnek létre, amit lehetőség szerint el kell kerülni a sérülések kockázatának minimalizálása, illetve az energiahatékonyság növelése érdekében. A kutatócsoport új eredményei azt mutatták, hogy nem csupán a szakirodalomban vizsgált talajfogási mintázat számít, hanem a lábszár szöge is fontos a talaj-láb ütközés során. A kutatók által bevezetett, szabályozással ellátott elméleti mechanikai modell lehetővé teszi a paraméterek hangolását különböző költségfüggvények mellett, melyek figyelembe veszik a futási sebességet, az energiahatékonyságot vagy az ütközési intenzitást. A modell alkalmas a stabil, futás-szerű mozgás generálására. Az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok szerint a talaj-láb ütközés pillanatszerű jelenségként modellezhető és valóban jelentős energiavesztéssel jár. A feladattól függően az emberi test szabadsági fokainak száma nagyobb, mint amennyire minimálisan szükség lenne, ezért többféle módon is végre lehet hajtani ugyanazt a mozdulatsort. Az emberi mozgástervezés megértése segíthet egyes mozgásszervi vagy idegrendszeri rendellenességek diagnosztizálásában és a gyógytornáztatásban is hasznos lehet. A természet utánzásán alapuló mozgások létrehozása kívánatos az emberekkel együttműködő robotok esetén. 2016-ban a

kutatók behatárolták azoknak az algoritmusoknak a csoportját, amelyek megfelelően visszaadják az emberi mozgást. A megszerzett ismeretek birtokában reprodukálni lehet az emberi kar mozgását, amely a későbbi kutatómunkához szükséges.

2016-ban általánosították a kutatók az **alulaktuált** rendszerek szabályozására korábban kifejlesztett prediktív szabályozó módszert. Az eljárás lényege, hogy a rendszer nem szabályozott részének mozgási lehetőségeit előre kiszámolva és azokból valamely szempontok szerint a legjobbat kiválasztva a teljes mozgás ismertté válik. Ezáltal a mozgáshoz szükséges erők, nyomatékok már meghatározhatók az inverz dinamika eszközeivel. A robotok mellett más alulaktuált szabályozott mechanikai rendszerek is vannak, melyekre alkalmazható a kifejlesztett prediktív módszer. Ilyenek például a járműszerelvények, ahol az alulaktuáltság különösen fékezés vagy tolatás során számottevő.

Számítógéppel szabályozott rendszerekben a **digitális hatások** kaotikus rezgésekhez és nagy szabályozási hibához vezethetnek. A beszámolási évben sikerült tisztázni a hibát befolyásoló legfontosabb folyamatokat. Az eredmények szerint border collision bifurkációk során újabb és újabb kaotikus attraktorok alakulhatnak ki. Ún. krízisek esetében ezek az attraktorok kinyílnak, így repellorokból álló nagyobb fázistérbeli struktúrák alakulnak ki, melyeken belül véletlenszerűen változhat a rendszer állapota. Nagy mintavételi idő és kis arányos erősítési tényező esetén a megkívánt állapottól távolodó irányú „ugrások”, míg ellenkező esetben túllendülések következnek be. Bizonyítást nyert, hogy a viszkózus csillapítás a szabályozási hibát csökkenti, míg a differenciális erősítési tényező növelése bizonyos tartományokban – a várakozásokkal ellentétben – a szabályozási hiba növekedése irányában hat. A konfigurációk nagy száma miatt nem lehetséges az összes bifurkáció analitikus leírása. Ezért egy olyan módszert dolgoztak ki a kutatócsoport tagjai, mellyel felülről becsülhető az összes fázistérbeli koordináta hibája tetszőleges dimenziójú leképezés esetében. Emellett, a tervekkel összhangban, megtörtént a cella leképezés továbbfejlesztése, mely lehetővé teszi a fázistér különböző tartományainak elemzésével kapott eredmények összefűzését.

*A közlekedés biztonságának növelése* témakörben a kutatócsoport tagjai olyan bistabil tartományok elemzését végezték el, ahol a **vontatott kerék** stabilitása jelentősen korlátozott. Meghatározták azon sebességtartományokat, melyekben az egyenes vonalú mozgás és a kerékszitalás együtt jelentkezhet. Igazolták, hogy a vontatott kerék bistabil viselkedését az általuk kifejlesztett, „emlékező” gumikerék modell nagy pontossággal leírja, míg a járműdinamikában klasszikusan alkalmazott kvázi-statisztikus modellek erre nem képesek. Az „emlékező” modell validálásához nagy pontosságú mérésekre van szükség. Ezért a kísérleti berendezés átépítésére és azon egy speciális jeladó elhelyezésére került sor, amellyel akár a korábban feltárt „mikrosimmi” jelenség is vizsgálható. A bistabil viselkedéssel járó sebességtartományokat a járműből és vontatmányból álló járműszerelvényre is kimutatták a kutatók egyszerű elméleti modellek segítségével. Ezen tartományok jelenléte nagy kockázatot jelent a közúti közlekedésben, mivel veszélyes mozgások indulhatnak be teljesen biztonságosnak hitt sebességtartományokban.

2016-ban a **két forgórészes rezgékeltő** rendszer vizsgálata a nem szinkronizálódott, de stacionárius mozgások kutatására és leírására fókuszált. Bár ez az eszköz funkciójához nem kapcsolódik szorosan, mindenképpen fontos ismerni azt az üzemiállapotot is, amikor a két forgórész szögsebessége eltér. Nagymértékű zavarás esetén ugyanis előfordulhat, hogy rövid ideig ilyen üzemiállapotba kerül a rendszer. Ennek felismerése és optimális kezelése lehetőséget nyújt a szabályozás hatékonyságának javítására. A mozgás során a két forgórész fordulatszámja eltérő, azonban a forgórészek egymáshoz képesti helyzetének megfelelően periodikusan változik. Ennek a pulzálásnak a frekvenciája közelíthető a két forgórész átlagos fordulatszámának különbségével. A nem szinkron mozgások részletes kísérleti vizsgálata megtörtént 2016-ban, az eredmények igazolták az elméleti becsléseket és a numerikus szimulációkat. A két forgórészes rendszer esetében a szinkron és a nem szinkron mozgások

határa nem egyértelmű, vannak olyan paraméter együttesek, ahol mindkét állandósult állapot lehetséges. A mérések során az egyes állapotok határait sikerült kimutatni attól függően, hogy milyen irányú az állapotok közti váltás.

**A száraz súrlódású rendszerek** vizsgálata kapcsán a kutatómunka a mechanikai érintkezés jellemzése – elsősorban a testek közötti normálerő eloszlásának kísérleti vizsgálata – irányába tolódott el. A más kutatókkal együttműködésben kidolgozott módszer azon alapul, hogy a fém testek közötti mechanikai erő eloszlás és az elektromos átmeneti ellenállás eloszlása összefügg. A feladat kísérleti vizsgálatát elsősorban az nehezíti, hogy az érintkezés során rendkívül összetett kémiai folyamatok indulnak el, melyek során időben változik az elektromos ellenállás. Sikerült kimutatni, hogy lehetséges ezeknek a változásoknak a kompenzálása. A módszer szabadalmi eljárása folyamatban van.

**b) Tudomány és a társadalom.** A kutatócsoport tagjai a 6-18 éves korosztály számára korcsoportonként kialakítandó, tudományos robotika oktatási modell létrehozásában vettek részt és ismeretterjesztő előadásokat tartottak a témában. Emellett középiskolás diákokat készítettek fel a Nemzetközi Fizika Versenyre (International Young Physicists Tournament, <http://iypt.org/>). A kutatócsoport vezetője előadást tartott a Bosch ECB Akadémián és 1 órás interjút adott a Tudáspresszó c. műsorban. A kutatók aktívan részt vesznek a BME-n szervezett nyílt napokon is. A kutatási témák közül elsősorban a járás és futás tanulmányozása tarthat számot széles körű érdeklődésre, mert szükség van arra, hogy tudományosan alátámasztott instrukciók segítsék az embereket a sérülések nélküli sportolásban.

### III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2016-ban

- *Új felsőoktatási kapcsolat:* South-East University (Nanjing, Kína)
- *Nemzetközi konferenciák szervezése:* Az European Nonlinear Dynamics Conference (ENOC 2017), az 14<sup>th</sup> IFAC Workshop on Time Delay Systems (2018) és a 8th CIRP Conference on High Performance Cutting (2018) konferenciák szervezése van folyamatban.
- *Új ipari kapcsolatok:* MÁV Zrt., Műszaki szakértői munka.

### IV. A 2016-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

A kutatócsoport vezetője elnyerte a „State Key Laboratory of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics” pályázatát. A magyar-kínai projekt az időkésséges rendszerek vizsgálatával foglalkozik.

### V. A 2016-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

- Beregi S, Takács D, Stépán G: Tyre induced vibrations of the car-trailer system. JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION, 362:214-227. (2016) <http://real.mtak.hu/32788>
- Várszegi B, Takács D, Stépán G, Hogan SJ: Stabilizing skateboard speed-wobble with reflex delay. JOURNAL OF THE ROYAL SOCIETY INTERFACE, 13(121): 1-9 (2016) <http://real.mtak.hu/40759>
- Zelei A, Bencsik L, Stépán G: Handling Actuator Saturation as Underactuation: Case Study With Acroboter Service Robot. JOURNAL OF COMPUTATIONAL AND NONLINEAR DYNAMICS, 12:(3) Paper 031011. (5). <http://real.mtak.hu/48142/>
- Bencsik L, Zelei A: Effects of human running cadence and experimental validation of the bouncing ball model. MECHANICAL SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING, Paper MSSP16-335R1, (10), (2016) <http://real.mtak.hu/48143/>
- Csernák G: Quantization-induced control error in a digitally controlled system. NONLINEAR DYNAMICS, (ISSN: 0924-090X) 84: (4) pp. 1-15. (2016) <http://real.mtak.hu/39438>