

# 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>

## 2012. évi tudományos beszámoló

### I. A kutatóhely fő feladatai 2012-ben

*A közlekedés biztonságának növelése* témakörben elsősorban egy olyan rezgésgerjesztő berendezés kifejlesztése volt a cél, aminek az amplitúdója és frekvenciája egymástól függetlenül állítható, így jól alkalmazható járművekben, veszélyes helyzetekre figyelmeztető jelzések generálására. A berendezés prototípusának legyártása és tesztelése a terveknek megfelelően valósult meg. Fontos cél volt a kerék-talaj kapcsolat pontosabb modellezése is. Ennek keretében a kutatók olyan modellt fejlesztettek ki, mely leírja a gumiabroncs talajjal nem érintkező részein terjedő deformációs hullámokat is. *A közlekedéssel kapcsolatos technológiák termelékenységének növelése* témakörben a marási folyamat frekvencia-tartományon alkalmazható stabilitásvizsgálatához készített program automatizálása és tesztelése volt a kitűzött feladat; az elkészült program szabadon hozzáférhető. A robotok mozgásának szabályozásával kapcsolatban egy kísérleti berendezés építése és egy új kutatási irány művelése, a két lábon járó passzív lépegető robotok vizsgálata kezdődött el. A digitális szabályozások következtében kialakuló rezgések kaotikus voltának bizonyításáról a gyakorlat számára fontos mennyiségi jellemzők számítására és a kerekítés különböző eseteinek egységes tárgyalására tevődött át a hangsúly, az előzetes terveknek megfelelően.

### II. A 2012-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

**a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények.** *A közlekedés biztonságának növelése* témakörben előtérbe került a korábbi elméleti eredmények gyakorlati megvalósítása. A kutatócsoport egyik tagja olyan ún. **vibroaktuátor** berendezést szabadalmaztatott, mely a megszokott kialakítással szemben nem egy, hanem két excentrikus forgórészt hajtanak meg független elektromotorok. Ezzel a kialakítással lehetőség nyílik a gerjesztett rezgés amplitúdójának és frekvenciájának egymástól független beállítására, ami nagyon jól kiaknázható az ún. heptikus visszacsatolásokban. Ezeknek a kisméretű berendezéseknek az a feladata, hogy rezgések segítségével információt juttassanak el a bőr receptorain keresztül az eszköz felhasználójának, a sokszor amúgy is túlterhelt érzékelési csatornákat (látás, hallás) tehermentesítve. A kidolgozott eszköz segítségével megtöbbszöröződik a rezgések által átadható információ mennyisége, aminek nagy jelentősége lehet számos alkalmazás szempontjából (pl. járművek passzív biztonsági berendezései, mobiltelefonok rezgő jelzése, orvosi/rehabilitációs alkalmazások). 2012-ben elkészült az eszköz prototípusa egy magyar ipari partner segítségével. Jelenleg folyamatban van a szabályozó és kiértékelő szoftverek fejlesztése. A kutatómunka a szabályozás nélküli rendszer viselkedésének vizsgálatára, és szimulációkkal történő összehasonlítására koncentrált. Sikerült bebizonyítani, hogy a korábbi analitikus és numerikus vizsgálatoknak megfelelően kialakul a mechanikai szinkronizáció a két forgórész között akkor is, ha a motorokra kapcsolt feszültségek különböznek egymástól. A kutatócsoport további fejlesztéseket végzett a **kerék-talaj kapcsolat** vizsgálata során alkalmazott dinamikus gumikerék modellen. A járműdinamikai szimulációkban használatos összetett kerékmodellek mindegyike figyelembe veszi a gumiabroncs talajjal nem érintkező

részeinek deformációját. Némelyik ehhez egyszerű, kvázi-statikus esetben érvényes közelítő formulákat alkalmaz, más modellek azonban a dinamikus hatásokat is leírják. Ez utóbbi modellek bonyolultságuknál fogva nem alkalmazhatók analitikus stabilitásvizsgálatokban. A gumiköpeny deformációját korábban csupán a szakirodalomból ismert közelítő formulák implementálásával vették figyelembe a kutatócsoport tagjai. Az elmúlt időszakban azonban felállították a gumiköpeny azon egyszerűsített modelljét, amely leírja a gumiabroncs talajjal nem érintkező részein terjedő deformációs hullámokat is. A vontatott kerék stabilitásvizsgálatát ennek a modellnek a legegyszerűbb, a kerékköpeny tömegét elhanyagoló változatával végezték el. Nagy vontatási sebességeknél új instabil területeket fedeztek fel, melyek érdekesek lehetnek a repülőgép orrfutók illetve szupersport motorkerékpárok esetén. A **száraz súrlódású rendszerek** résztemában folytatódott a harmonikusan gerjesztett Coulomb- súrlódású oszcillátor megoldásainak vizsgálata. Bebizonyosodott, hogy a Ljapunov-exponens értékében tapasztalt hirtelen változás háttérben tranzienst kaotikus megoldás létezése áll, mely háromperiódusú megoldáshoz tart. Egy közelítő, szakaszosan lineáris leképezés konstruálásával a kutatók meghatározták a kérdéses paramétertartományon érvényes véges idejű Ljapunov-exponenst, melynek értéke jól illeszkedik a tranzienst kaotikus tartományon kívül számolt kitevők sorába.

*A közlekedéssel kapcsolatos technológiák termelékenységének növelése* témakörben továbbra is fontos cél volt a **forgácsoló technológiák fejlesztése**. Ennek kapcsán előtérbe került a marási folyamat frekvenciatartományon alkalmazható stabilitásvizsgálata. Az eljárás gyakorlati jelentőségét az adja, hogy alkalmazása során a rendszer dinamikai tulajdonságai megadhatóak a mérésből származó frekvencia átviteli függvény segítségével. A korábban kidolgozott többdimenziós felező módszer és a stabilitásvizsgálat algoritmusának kombinációjával egy hasznos és hatékony programot hoztak létre a kutatók, amely a szokásosan használt stabilitási térképek stabil és instabil szigeteinek automatikus detektálásán kívül számos más dinamikai probléma megoldására is alkalmas. Az elkészített kód – amit már több munkatárs is alkalmazott és tesztelt – nyilvános és ingyenesen letölthető.

Fémek forgácsolása során az ún. élszak képződése káros mind a felületi minőség, mind a szerszám élettartama szempontjából. Egy késleltetett differenciálegyenleten alapuló modell arra az eredményre vezetett, hogy az élszak megjelenése gyakran kaotikus rezgésekkel jár együtt. A késleltetett differenciálegyenletek fázistere ugyan végtelen dimenziós, de az állandósult rezgések gyakran véges dimenziójú attraktorra korlátozódnak. A kutatók egy erre a célra írt számítógépes program segítségével kiszámították a Ljapunov-spektrum egy közelítését. Az eredmények alapján becslést lehetett adni az attraktor fraktáldimenziójára, mely a számítások szerint 10 alatti, tehát valóban véges. Az alkalmazott eljárás rendkívül számításigényes, ezért a legnagyobb Ljapunov-exponens értékét egy gyorsabb módszer segítségével is ellenőrizték. Az eredmények lehetőséget teremtenek az eddig véletlenszerűnek tekintett ingadozások determinisztikus modellek alapján történő magyarázatára.

**A robotok mozgásának szabályozásával** kapcsolatos munka keretében folytatódott az alulaktuált, azaz nem minden szabadsági fokukban szabályozható robotikai rendszerek szabályozásának tanulmányozása. Napjaink ipari robotjaiban minden egyes csukló motorral mozgatható. Így nagy pontosság érhető el, azonban az így megvalósított mozgás sok energiát emészt fel. Gyakran a pontosságnál fontosabb szempont, hogy a robot kicsi, fürgé és energiatakarékos legyen. Az ilyen robotok gyakran alulaktuáltak, ezért ebben az esetben az úgynevezett passzív szabadsági fokok természetes dinamikáját kell előnyösen kihasználni. A témához kapcsolódó új kutatási irány a két lábon járó passzív lépegető robotok vizsgálata. Ezek a robotok nem próbálnak állandóan statikus egyensúlyban maradni, sok energiát felemésztenek, hanem az emberi járáshoz hasonló módon dinamikusan lendülnek át egyik lábukról a másikra. Ennek megfelelően, előtérbe került az emberi járás tanulmányozása is, elsősorban az energiahatékonyság szempontjából. Emellett a beszámolási időszak második

felében kísérleti berendezés építése kezdődött, mely a tervek szerint egyaránt alkalmas lesz a projektben vizsgált kontaktproblémák és az alulaktuált robot szabályozás vizsgálatára is.

A robotok mozgásának szabályozását számítógépes rendszerek biztosítják, melyek az ún. **digitális hatások** következtében kis amplitúdójú kaotikus rezgésekhez vezethetnek. Az eddigi kutatások a létrejövő rezgések kaotikus voltának bizonyítására koncentráltak néhány egyszerű esetben. A beszámolási évben megmutatták a kutatók, hogy a kaotikus viselkedés három ismérve közül a kezdeti feltételekre való érzékenység és az attraktor létezése digitálisan szabályozott rendszerek széles osztályára teljesül, míg az ún. keverési tulajdonság bizonyítása nem triviális. Az eredmények rávilágítottak, hogy a gyakorlatban nem a digitális szabályozás miatt bekövetkező kis amplitúdójú rezgések okozhatnak problémát, hanem az, hogy több különálló attraktor is megjelenhet, távol a megkívánt véghelyzettől, rontva a szabályozás pontosságát. A kutatómunka keretében célprogram készült a fázistér globális szerkezetének ún. cella-leképezés segítségével történő feltérképezésére, mellyel sikerült kimutatni az elkülönülő attraktorokat. Az eredmények általánosítása érdekében elkezdődött a kimeneten és bemeneten történő kerekítés hatásainak egységes formalizmus keretében történő leírásának kidolgozása is.

**b) Párbeszéd a tudomány és a társadalom között.** A kutatócsoport tagjai érdekes mechanikai kísérletek bemutatásával és ismeretterjesztő előadás tartásával vettek részt a BME egyetemi nyílt napon. A BME-n tartott Kármán-napon is ismeretterjesztő előadással és mechanika témájú vetélkedő feladatok kidolgozásával vettek részt a kollégák. A Mathias Corvinus Collegium előadássorozatának keretében is előadást tartott egy kolléga.

### III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2012-ben

- *Új felsőoktatási kapcsolat:* Egy kolléga külföldön (Centre for Intelligent Machines, Department of Mechanical Engineering, McGill University) végzett kutatómunkát.
- *Nemzetközi konferenciák szervezése:* ICTAM 2012, Prenominated Session: Mechanics of Material Processing
- *Új tudományos tagságok:* IUTAM, Executive Congress Committee
- *Új ipari kapcsolatok:* Direct-Line Kft.

### IV. A 2012-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

2012-ben "Tyre induced self-excited vibrations of vehicles" címmel 3 éves, 4600 eFt költségvetésű OTKA pályázatot nyert el a kutatócsoport egyik tagja.

### V. A 2012-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

- Denkena B, Krüger M, Bachrathy D, Stépán G, Model based reconstruction of milled surface topography from measured cutting forces. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS & MANUFACTURE* **54-55**: pp. 25-33. (2012) IF: 2.169\*.
- Takács D, Stépán G, Micro-shimmy of towed structures in experimentally uncharted unstable parameter domain. *VEHICLE SYSTEM DYNAMICS* **50**:(11) pp. 1613-1630. (2012) IF: 0.722\*, DOI: [10.1080/00423114.2012.691522](https://doi.org/10.1080/00423114.2012.691522).
- Kovács LL, Bencsik L, Stability case study of the ACROBOTER underactuated service robot. *THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS LETTERS* **2**:(4) 7 p. 043004. (2012).
- Zelei A, Stépán G, Case studies for computed torque control of constrained underactuated systems. *PERIODICA POLYTECHNICA – Mech. Eng.*, **56**(1), pp. 73-80, (2012).
- Szabo Zs, Zelei A, Stépán G, Stability of an elastic supported flat plate subjected to potential flow. *PERIODICA POLYTECHNICA – Mech. Eng.*, **56**(2), pp. 99-103, (2012).