

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>

2013. évi tudományos beszámoló

I. A kutatóhely fő feladatai 2013-ban

A közlekedéssel kapcsolatos technológiák termelékenységének növelése témakörben a **digitális hatásokkal** kapcsolatos eredmények gyakorlati felhasználásának előkészítése volt a feladat. A mikro-káosz jelenséget leíró egyenletek általánosítása, a valós rendszereket jellemző csillapítás figyelembevétele, valamint egy kísérleti eszköz készítése a terveknek megfelelően valósult meg. A munkaterv szerint zajlott egy **alulaktuált** kísérleti **robot** építése és a szabályozási algoritmusok továbbfejlesztése is, valamint az eredmények kiterjesztése az emberi járás és futás vizsgálatára. Emellett az emberi egyensúlyozás is megjelent, új kutatási területként. A **marás** frekvenciatartományon történő stabilitásvizsgálati módszereinek továbbfejlesztése, lemez-szerű alkatrészekre történő alkalmazása szintén a terveknek megfelelően történt meg. A fűrés tervezett vizsgálata helyett a stabilitásvizsgálati módszerek automatizálására terelődött a hangsúly, azok várható ipari alkalmazása miatt. *A közlekedés biztonságának növelése* témakörben a **vibroaktuátorral** kapcsolatos szoftverfejlesztés és az ellenőrző kísérletek végzése a terveknek megfelelően haladt. A **kerék-talaj kapcsolat** vizsgálata részmájában olyan modell felállítása valósult meg, mely figyelembe veszi a gumiabroncs tömegét is. Az új modell bizonyos egyszerűsítő feltevések figyelembevételével alkalmas lesz az eddigieknél pontosabb stabilitástérképek készítésére. A gerjesztett **száraz súrlódású oszcillátor** kísérleti vizsgálatához végzett előzetes mérések alapján meg kellett változtatni a kísérleti eszköz koncepcióját. Az eszköz részletes tervei elkészültek, jelenleg az egyedi alkatrészek legyártásának előkészítése folyik.

II. A 2013-ban elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények. *A közlekedéssel kapcsolatos technológiák termelékenységének növelése* témakörben előtérbe került a **robotok szabályozásának** vizsgálata. Elsősorban a **digitális szabályozásokat** jellemző késés, mintavételezés és kerekítési hiba kaotikus rezgésekhez vezető hatásainak elemzése volt a feladat. A gyakorlat számára fontos eredmény az ilyen rezgéseket leíró mikro-káosz leképezés általánosítása a szabályozástechnikában kiemelt jelentőségű teljes állapot-visszacsatolásos lineáris rendszerekre. Emellett elkezdődött a mikro-káosz kísérleti kimutatására alkalmas berendezés építése és tesztelése is. Topológiai megfontolások alapján lehetőség nyílt a szabályozási hiba analitikus becslésére több egyszerű PD szabályozású rendszer esetében. Az eredmények érvényességi körének vizsgálata kapcsán az ún. border collision bifurkációt sikerült azonosítani, de a cella-leképezésen alapuló vizsgálatok más globális bifurkációk előfordulására is utalnak. A cella-leképezéssel elkülöníthetők egymástól az egymás melletti kaotikus attraktorok vonzási tartományai. Így lehetőség van a kisebb szabályozási hibához tartozó attraktorok vonzási tartományának növelésére a paraméterek megfelelő beállításával. Egy másik alkalmazott módszer kombinatorikai alapú, az ún. szimbolikus dinamika eszközeit használja a kaotikus viselkedés „vázát” alkotó periodikus megoldások megkeresésére.

Az ún. **alulaktuált robotok** olyan szerkezetek, melyeknél nem minden szabadsági fokhoz

tartozik aktuátor – azaz az előírt mozgást biztosító villanymotor. Az ilyen szerkezetek szabályozásához a rendszer dinamikáját kell előnyösen kihasználni, ezzel gyors és energiahatékony berendezések alkothatók. A kutatócsoport által vizsgált egyik robot a mennyezetről lóg le. A hintázáshoz hasonlóan először beleng, majd a megfelelő mozgási energia felhalmozódása után kezdődik meg az előírt pálya követése. Ehhez a koncepcióhoz kapcsolódóan egy két karos, változó felfüggesztési pontú ingával modellezhető alulaktuált helyváltoztató robot készült. A szerkezet analízise és kísérleti felhasználása lehetővé teszi egyes emberi vagy állati (pl. fáról-fára lendülés) mozgások biomechanikai vizsgálatát. Az alulaktuált robotok másik vizsgált csoportjába az ún. passzív lépegetők tartoznak. Az ilyen robotok vizsgálata során szerzett tapasztalatok alkalmasnak bizonyultak az emberi járás és futás elemzésére. A hallgatók bevonásával végzett vizsgálatok a futás energiahatékonyására és a lépésként fellépő ütőerőhatásokra fókuszáltak. Emellett dinamikai számítások segítségével sikerült tisztázni néhány, a szakirodalomban felvetett kérdést.

Idős emberekkel gyakran történik az egyensúly elvesztéséhez (eleséshez) kapcsolódó baleset, ezért ennek esélyének csökkentéséhez ismerni kell az **emberi egyensúlyozás** mechanizmusát. A szakirodalom feltételezi, hogy – hasonlóan a robotok szabályozásához –, az emberi agy is egy hibával arányos beavatkozást állít elő annak érdekében, hogy ne essünk el. Fejünk függőlegeshez képest mért szögeltérése, szögsebessége és szöggyorsulása – melyeket a belső fül érzékszervei mérnek – adja az alapját ennek a beavatkozásnak. A kutatócsoport tagjai az emberi test és a szabályozási kör egyszerű modelljeinek, valamint egy felfelé állított, szabályozott ingának (inverz inga) a segítségével vizsgálták az egyensúlyozás folyamatát. A modell figyelembe veszi az érzékszervek érzéketlenségi zónáját (hogy kis eltéréseket nem érzékelnek) és azt az időt, amely az érzékelés és a beavatkozás között telik el. A számítások és a mérések egyaránt az embernél megfigyelhető jellegzetes imbolygó mozgást adták eredményül, ami arra utal, hogy a szabályozási stratégiára vonatkozó feltételezések helyesek.

A forgácsoló technológiák fejlesztése résztémán belül a kutatás egyik iránya a marás során kialakuló felületi minőség vizsgálata volt a korábbi modell egy továbbfejlesztett változatának segítségével, mely már alkalmas lemez-szerű munkadarabok megmunkálásának leírására is. Előzetes mérések igazolták az eddigi eredményeket. A marási folyamat stabilitásszámítása terén is jelentős előrelépés történt az ún. több frekvenciás módszer továbbfejlesztett változatának automatizálásával. A módszer tetszőleges geometriájú – például hullámos élű vagy nem egyenlő fogosztású – maró szerszámok leírására is alkalmas lett. A modellek elosztott késéseket tartalmazó differenciálegyenletekhez vezetnek, amelyek stabilitásvizsgálatát eddig csak időtartománybeli módszerekkel vizsgálták, melyekhez elengedhetetlen a szerszám gép modális analízise. A kutatócsoport által kifejlesztett módszer alkalmazásához azonban erre nincs szükség, mert közvetlenül használható a szerszám átviteli függvénye.

A közlekedés biztonságának növelése témakörben folytatódott a Dual Excenter két forgórészes **vibroaktuátor** fejlesztése. A vibroaktuátorok rezgések segítségével juttatnak el információt az eszköz felhasználójának. A Dual Excenter segítségével megtöbbszöröződik a rezgések által átvihető információ mennyisége, aminek nagy jelentősége lehet járművek passzív biztonsági berendezéseiben. 2013 első felében elkészült az eszköz állapotát leíró adatokat (szögsebességek és fázisszög) feldolgozó programkód a szabályozáshoz. Ezzel párhuzamosan lehetővé vált a mért adatok rögzítése, valamint a működéshez szükséges parancsok kiadása. A berendezés alkalmasságát és dinamikai viselkedését vizsgáló kísérletek szerint az a fejlesztés céljának megfelelően működik: képes független frekvenciájú és amplitúdójú rezgések keltésére. A kísérletek sikeressége miatt a korábban tervezett felfüggesztés elkészítésére és a modell további pontosítására egyelőre nem volt szükség.

A **kerék-talaj kapcsolat** vizsgálatával foglalkozó kollégák a kerékköpeny talajjal nem

érintkező részének dinamikájára összpontosítottak. A korábbi kutatások szerint a kerék kerülete mentén terjedő deformációs hullámok eddig nem vizsgált paramétertartományokban is okozhatnak öngerjesztett rezgéseket. 2013-ban a kutatócsoport tagjai a kerékköpeny olyan egyszerűsített modelljét állították fel, amely már nem csak a kerékköpeny rugalmas tulajdonságait, hanem annak tömegét is figyelembe veszi, azaz lengő kontinuumként modellezi. A szakirodalomban az ilyen jellegű rezgéseket is figyelembe vevő – végeselemes – modellek már rendkívül bonyolultak, így azok analitikus vizsgálata nem lehetséges. A kutatás ezért a korábban is alkalmazott kefe illetve feszített húr modellek kiterjesztésére koncentrált. A beszámolási évben az ilyen módon kibővített modellhez tartozó mozgásegyenletek levezetése történt meg különböző módszerekkel. Eredményül egy – a korábbiaknál jóval bonyolultabb és analitikusan nehezen kezelhető – parciális differenciálegyenlet adódott. A **gerjesztett száraz súrlódású oszcillátor** vizsgálatával kapcsolatban lezárultak a súrlódási tényező mérésére irányuló kísérletek. A tapasztalatok alapján – egy új koncepció mentén – elkészült egy kísérleti eszköz terve. Jelenleg a gyártás előkészítése zajlik.

b) Párbeszéd a tudomány és a társadalom között. A kutatócsoport tagjai érdekes mechanikai kísérletek bemutatásával vettek részt a BME egyetemi nyílt napon. A BME-n tartott Kármán-napon mechanika témájú vetélkedő feladatok kidolgozásával vettek részt a kollégák. A kutatócsoport vezetője a „Diákok az Akadémián” rendezvény keretében tartott előadást középiskolásoknak. Az emberi egyen-súlyozással kapcsolatban egy cikk jelent meg a Természet Világa c. folyóiratban, amely a nagyközönség számára érthető formában közli a kutatócsoport által elért eredményeket.

III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2013-ban

- *Új felsőoktatási kapcsolat:* Claremont Colleges, (USA); University of Michigan (USA); Georgia Institute of Technology (USA); Kumoh National Institute of Technology (Korea)
- *Nemzetközi konferenciák szervezése:* Finno-Ugric International Conference on Mechanics.
- *Új tudományos tagságok:* The International Academy for Production Engineering (CIRP); American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- *Új folyóirat szerkesztőségi tagság:* Journal of Computational and Nonlinear Dynamics.
- *Új ipari kapcsolatok:* Ganz Motor Kft., Robert Bosch Kft.

IV. A 2013-ban elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

A kutatócsoport vezetője elnyerte a *European Research Council (ERC)* Advanced Grant támogatását „Stability Islands: Performance Revolution in Machining” című pályázatával.

V. A 2013-ban megjelent jelentősebb tudományos publikációk

1. Pálmai Z, Csernák G, Effects of built-up edge-induced oscillations on chip formation during turning, **JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION 332:** pp. 2057-2069. (2013)
2. Licskó G, Csernák G, On the chaotic behaviour of a simple dry-friction oscillator. **MATHEMATICS AND COMPUTERS IN SIMULATION 95:** pp. 55-62. (2013)
3. Bachrathy D, Stépán G Improved prediction of stability lobes with extended multi frequency solution **CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY 62:** pp. 411-414. (2013)
4. Takács D, Stépán G, Contact patch memory of tyres leading to lateral vibrations of four-wheeled vehicles, **PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY A 371:**(1993) pp. 13. Paper 20120427. (2013)
5. Juhász Z, Zelei A, Analysis of worm-like locomotion, **PERIODICA POLYTECHNICA – MECHANICAL ENGINEERING 57:**(2) pp. 59–64. doi: 10.3311/PPme.7047. (2013)