

# 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>

## 2011. évi tudományos beszámoló

### I. A kutatóhely fő feladatai 2011-ben

*A gépek és járművek stabilitási- és rezgésvizsgálata* témakörben a marási folyamat frekvenciatartományon alkalmazható stabilitásvizsgálati módszereinek továbbfejlesztése volt a fő cél. A kidolgozott módszer a hagyományos eljárásoknál jelentősen gyorsabb és megbízhatóbb eredményeket garantál. A kutatócsoport által korábban kifejlesztett dinamikus gumikerék modell gyakorlati alkalmazásainak kibővítése is fontos feladat volt. Ezzel kapcsolatban a legértékesebb eredmény egy teljes személygépjármű modell stabilitási térképének megszerkesztése volt. *A számítógéppel szabályozott rendszerek* témakörében továbbra is kiemelt kutatási terület volt az ún. alulaktuált robotikai rendszerek szabályozásának tanulmányozása, ugyanis ezekkel gyorsabb és energiatakarékosabb működést lehet biztosítani. A vizsgálatokhoz moduláris kísérleti eszköz készítése kezdődött el, mely gyorsan és rugalmasan konfigurálható át különböző struktúrákba. *A járműalkatrészek tönkremenetelével* kapcsolatos kutatómunka a kontinuum mechanika ún. „rate dependent” anyagmodelljeinek az anyagi instabilitási problémák numerikus analizisére gyakorolt hatásával foglalkozott. Fontos eredmény, hogy a kapott matematikai struktúrák hasonlóak a számítógéppel szabályozott rendszerek kapcsán vizsgáltakhoz.

### II. A 2011-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

**a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények.** *A gépek és járművek stabilitási- és rezgésvizsgálata* témakörben elsősorban a marási folyamat frekvenciatartományon alkalmazható stabilitásvizsgálata kapcsán születtek új eredmények. A frekvenciatartományon használt módszerek által vizsgált paraméterter mindig eggyel nagyobb, mint az időtartományon használt módszereké, ezért a stabilitási határok detektálása is hosszabb időt vesz igénybe. Az ún. Hill-módszer vagy az ún. multi-frequency-solution algoritmus sebessége drasztikusan növelhető a csoport által kidolgozott új keresési eljárás bevezetésével. A probléma megoldását a felező módszer magasabb dimenziókra történő általánosítása jelentette, amivel a számítás időigénye összemérhető lett az időtartományon végzett számításokéval. A módszer számos más gyökkeresési problémánál is alkalmazható. Nemlineáris egyenletrendszerek esetén is automatikusan megtalálja a többszörös megoldásokat, a módszer konvergenciája is garantált, és nem csak adott pontokat lehet megkeresni vele többdimenziós terekben, de vonalakat, felületeket, vagy más objektumokat is. A kutatócsoport által alkalmazott módszer a Nyquist kritériummal kiegészítve a stabilitásváltozás irányáról is ad információt, amire a hagyományos módszerek nem képesek.

A forgácsoló szerszám reális paraméterek mellett gyakran elválhat a munkadarabtól, és ez a felületi minőség romlásához, illetve a szerszám tönkremeneteléhez vezethet. A kutatócsoport tagjai feltérképezték a szerszámmerevség és a forgácsolási sebesség paramétersíkján, hogy hol alakulhat ki megszakított forgácsolás. Egy másik jelenség, az élszak kialakulása is károsan hat a forgácsképződésre. A felállított, időkésleltetett modell szerint ez a jelenség gyakran aperiodikus forgácsleválasztáshoz vezet. Mivel a rendszer fázistere végtelen

dimenziós, a kaotikus rezgések kimutatásához nem elég megbízható az idősor-analízis. Ezért egy olyan programkód készült, mely közelítőleg kiszámítja a Ljapunov-spektrumot, és ennek segítségével becslést ad az attraktor fraktáldimenziójára – amely végesnek bizonyult.

A késleltetett differenciálegyenletekkel kapcsolatos stabilitásvizsgálatok részét képezte a kutatócsoport által korábban kifejlesztett gumikerék modell beépítése a szakirodalomban általánosan használt személygépjármű modellbe is. Ez az úgynevezett bicikli modell – elhanyagolva a jármű oldalirányú kiterjedését és függőleges dinamikáját – mindössze öt paraméter segítségével alkalmas a gépjármű állandó sebességű, egyenes vonalú mozgása során megjelenő öngerjesztett rezgések vizsgálatára. A jármű lineáris stabilitási térképe a haladási sebesség és a súlypont elhelyezkedését leíró paraméter síkjában került megrajzolásra különböző egyéb paraméterek mellett. Bebizonyosodott, hogy egyes sebességtartományokban az egyenes vonalú mozgás elveszíti lineáris stabilitását és a jármű öngerjesztett rezgéseket végez hol az első hol pedig a második sajátfrekvenciájához tartozó módussal. A gumikerék deformációi szintén megjeleníthetők, numerikus szimuláció segítségével.

A beszámolási évben folytatódott az egyszabadságfokú, száraz súrlódásos oszcillátor vizsgálata. Két független numerikus módszerrel is sikerült kimutatni kaotikus rezgéseket. Az első módszer meghatározza két, egymáshoz közeli kezdeti feltétellel indított megoldás távolodási ütemét, azaz a legnagyobb Ljapunov-exponenst. A másik módszer az ún. káosz-szinkronizáción alapul: az eredeti egyenletrendszert új változók bevezetésével megkettőzve és az új egyenleteket csatoló tagokkal kiegészítve, az eredeti és az új egyenletrendszer kaotikus megoldásai a csatolási tényező bizonyos pozitív értékeinél szinkronizálódnak. A legnagyobb ilyen érték a maximális Ljapunov-exponens. Az eredmények egy nagyon szűk tartományban tranziens káosz jelenlétére utaltak. A kaotikus viselkedés várható idejének becslésére numerikus és szemi-analitikus módszerek alkalmazásával került sor. Az előzetes kísérleti vizsgálatok szerint lehetséges az elméleti eredmények paramétertartományát megközelítő súrlódási tényezőkkel jellemezhető anyagpár kiválasztása a későbbi dinamikai kísérletekhez.

*A számítógéppel szabályozott rendszerek* témakörében továbbra is kiemelt kutatási irány az alulaktuált, azaz nem minden szabadsági fokukban szabályozható robotikai rendszerek szabályozásának tanulmányozása, melyek a hagyományos robotoknál fürgébb és energiatakarékosabb működést biztosítanak. A szabályozási algoritmusok tesztelésére eddig is rendelkezésre állt kísérleti berendezés, aminek a komplexitása miatt a kísérleti eredményekből nehezen lehetett levonni pontos következtetéseket. 2011-ben sor került egy olyan moduláris kísérleti berendezés megtervezésére és részben kivitelezésére is, ami gyorsan és rugalmasan konfigurálható át különböző struktúrákba, például soros és párhuzamos kinematikájú, illetve alulaktuált vagy redundáns robotok egyaránt megépíthetőek. Egy további eredmény annak megmutatása volt, hogy az alulaktuált rendszerek szabályozására korábban kifejlesztett algoritmus sikeresen alkalmazható teljesen aktuált robotok (pl.: ipari robotok) motorjainak telítődésekor fellépő problémák feloldására.

A szabályozott rendszerekkel kapcsolatos elméleti vizsgálatok a digitális hatások – mintavételezés, késés és kerekítési hiba – kaotikus viselkedést okozó hatására koncentráltak. A beszámolási időszakban sikerült áthidalni a korábbi nehézségeket, melyek egy PD szabályozás kaotikus megoldásai létezésének bizonyítása során jelentkeztek. A reális paraméterek mellett kialakuló rezgéseket egy kétdimenziós diszkrét leképezéssel lehet leírni, ezért ún. Smale-patkót lehetett szerkeszteni, ami a kaotikus viselkedés egyértelmű bizonyítéka. Az eredmények rávilágítottak, hogy a gyakorlatban nem a digitális hatások miatt bekövetkező kis amplitúdójú rezgések okozhatnak problémát, hanem az, hogy több attraktor is megjelenhet, távol a megkívánt véghelyzettől. Felmerült az a kérdés, hogy nem a digitális rendszer szimulációjához használt számítógép – szintén digitális – működése okozza-e a

megfigyelt jelenségeket. Sikerült megmutatni, hogy ez a hatás elhanyagolható. További vizsgálatok történtek a dinamikai rendszerekben mutatkozó anticipáció stabilitásra gyakorolt hatásaival kapcsolatban is. Egy véges szabadságfokú rendszer esetében az analitikus vizsgálatok szerint az anticipatív rendszer kedvezőbb stabilitási szempontból.

*A járműalkatrészek tönkremenetelével* kapcsolatos kutatómunka a kontinuum mechanika ún. „rate dependent” anyagmodelljeinek az anyagi instabilitási problémák numerikus analízisére gyakorolt hatásával foglalkozott. Ebben az esetben is egy diszkrét dinamikai rendszer vizsgálatáról van szó, de az algebrai operátorok helyett differenciáloperátorok spektrumainak a meghatározására van szükség. Az eredmények szerint a „rate independent” anyagmodellek anticipatív jellegű diszkrét dinamikai rendszerekre vezetnek, amelyek a *számítógéppel szabályozott rendszerek* témakörében alkalmazott matematikai eljárásokkal vizsgálhatók.

**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, ahol számos középiskolás diák érdeklődését sikerült felkelteni a műszaki tudományok iránt. A BME-n tartott Kármán-napon is ismeretterjesztő előadással és mechanika témájú vetélkedő feladatok kidolgozásával vettek részt a kollégák.

### III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2011-ben

- *Új felsőoktatási kapcsolat:* Egy kolléga külföldön (Centre for Intelligent Machines, Department of Mechanical Engineering, McGill University) végzett kutatómunkát. A kutatócsoport minden tagja aktívan oktat a BME-n.
- *Nemzetközi konferenciák szervezése:* 1) CASYS 2011 (Liege, Belgium): Member of Scientific Committee, 2) Thermal Stresses 2011 Congress: General Chair.
- *Új tudományos tagságok:* Observer Member of IFToMM Technical Committee on Robotics and Mechatronics, Member of the Honorary Editorial Board of the Journal of Advances in Vibration Engineering, Australian Mathematical Society, American Mathematical Society
- *Új ipari kapcsolatok:* Bugaboo, Grundfos

### IV. A 2011-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

Egy 2011-ben benyújtott és elnyert, 2012-ben induló, “Gépszerkezetek érintkezési paramétereinek azonosítása nemlineáris dinamikai kísérletekkel” című, 4 évre 16183 eFt költségvetésű OTKA pályázatban a kutatócsoport vezetője és három tagja vesz részt.

### V. A 2011-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

- Bachrathy D., Stépán G., Turi J.: State dependent regenerative effect in milling processes. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 6:(4), pp. 1-9, (2011).
- Zelei A., Kovács L.L. and Stépán G.: Computed torque control of an under-actuated service robot platform modeled by natural coordinates, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 16:(5), pp. 2205-2217 (2011).
- Dombovari, Z., Barton, D.A.W., Wilson, R.E., Stepan, G., On the Global Dynamics of Chatter in the Orthogonal Cutting Model, *International Journal of Non-linear Mechanics*, 46:(1), pp. 330-338, (2011).
- Bachrathy D., Stépán G.: Bisection method in higher dimensions and the efficiency number, *Periodica Polytechnica*, vol. 2, (2011). (2012-ben megjelenő, 2011-es szám.)
- Stépán G., Kovács L.L., Tóth A. (eds.): *Proceedings of the IUTAM Symposium on Dynamics Modeling and Interaction Control in Virtual and Real Environments*, held in Budapest, Hungary, June 7-11, 2010, IUTAM Bookseries, vol. 30, (2011) (ISBN 978-94-007-1642-1).