

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Várkonyi Péter
e-mail címe³: vpeter@mit.bme.hu

Téma címe: Billegő, ütköző és csúszó rendszerek stabilitása

A **téma** rövid leírása⁴:

A doktorandusz feladat olyan dinamikai problémák elemzése, melyeket egymással érintkező merev testekkel modellezhetünk. Ilyen például billegő tartószerkezetek földrengésvizsgálata vagy önálló mozgásra képes robotok lépéseinek tervezése. A kutatás fő célja mérnöki szempontból előnyös egyensúlyi helyzetek vagy mozgásformák stabilitásvizsgálata, illetve stabilizálása. Az érintkezési kölcsönhatások (súrlódás, ütközések) összetett dinamikus viselkedést eredményeznek, és emiatt egy nyugalomban lévő rendszer kis zavarásokkal szembeni stabilitásának (az ún. Lyapunov stabilitás) vizsgálatára sincsenek kidolgozott módszerek. A nagy zavarásokkal szembeni ellenállás pl. földrengéssel szembeni tervezés ennél is nehezebb kihívást jelent, emiatt a mérnöki gyakorlatban durva közelítő módszereket használnak. A hallgató feladata új stabilitási feltételek és tervezési eljárások kidolgozása, és alkalmazása mérnöki problémákra.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- Posa, Michael, Mark Tobenkin, and Russ Tedrake. "Stability analysis and control of rigid-body systems with impacts and friction." *IEEE Transactions on Automatic Control* 61.6 (2016): 1423-1437.
- Di Egidio, Angelo, Daniele Zulli, and Alessandro Contento. "Comparison between the seismic response of 2D and 3D models of rigid blocks." *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* 13.1 (2014): 151-162.
- Dimitrakopoulos, Elias G., and Matthew J. DeJong. "Revisiting the

¹ Az adatlapot egy példányban kinyomtatva és aláírva a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, elektronikus változatban pedig a Doktori Iskola titkárának (Kóródy Anna, korody@eik.bme.hu) kell eljuttatni. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola (<http://www.szt.bme.hu/index.php/oktatás/csonka-pál-doktori-iskola>), a témahirdetés rövid leírása pedig az Országos Doktori Tanács (<http://www.doktori.hu/>) honlapjára.

² A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

³ Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

⁴ A téma rövid leírása (szóközökkel) 1000-3000 leütés hosszú. A jelentkező hallgatókat bővebben tájékoztató változatot, (mely a téma fent megadott releváns nemzetközi irodalmára tételesen hivatkozik) kérjük a mellékletben megadni.

⁵ Minimum 5, maximum 10 cikket vagy monográfiát kérünk felsorolni, amik között feltétlenül szerepelnie kell a legfrissebb, legismertebb eredményeknek.

rocking block: closed-form solutions and similarity laws." Proc. R. Soc. A. Vol. 468. No. 2144. The Royal Society, 2012.

- Leine, R. I., and N. Van De Wouw. "Stability properties of equilibrium sets of non-linear mechanical systems with dry friction and impact." *Nonlinear Dynamics* 51.4 (2008): 551-583.
- Pang, J-S., and J. Trinkle. "Stability characterizations of rigid body contact problems with coulomb friction." *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* 80.10 (2000): 643-663.

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai⁶:

- Nonlinear Dynamics
- J. Nonlinear Science
- International J. Solids and Structures
- International J. Robotics Research
- IEEE Transactions in Robotics
- IEEE Transactions in Automation Science and Engineering

A **témavezető** fenti folyóiratokban megjelent 5 közleménye:

- P L Várkonyi, Y Or, Lyapunov stability of a rigid body with two frictional contacts, *NONLINEAR DYNAMICS* (in press)
- Varkonyi PL, Domokos G Symmetry, optima and bifurcations in structural design, *NONLINEAR DYNAMICS* 43:(1-2) pp. 47-58. (2006)
- Varkonyi PL, Domokos G Static equilibria of rigid bodies: Dice, pebbles, and the Poincare-Hopf theorem *JOURNAL OF NONLINEAR SCIENCE* 16:(3) pp. 255-281. (2006)
- Varkonyi PL, Domokos G Imperfect symmetry: A new approach to structural optima via group representation theory, *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOLIDS AND STRUCTURES* 44:(14-15) pp. 4723-4741. (2007)
- Varkonyi P L Communication and collective consensus making in animal groups via mechanical interactions *JOURNAL OF NONLINEAR SCIENCE* 21: pp. 387-401. (2011)
- Várkonyi P L Estimating part pose statistics with application to industrial parts feeding and shape design: new metrics, algorithms, simulation experiments and datasets *IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING* 11:(3) pp. 658-667. (2014)

A **témavezető** utóbbi tíz évben megjelent 5 legfontosabb publikációja:

- P L Várkonyi, Y Or: Lyapunov stability of a rigid body with two frictional contacts, *NONLINEAR DYNAM* in press
- Champneys A R, Varkonyi P L: The Painleve paradox in contact mechanics, *IMA J APPL MATH* 81: (3) 538-588, 2016

⁶ Minimum 5, maximum 10 folyóirat megadását kérjük, melyek között feltétlenül szerepelnie kell a PhD fokozatszerzés szempontjából elengedhetetlen (Scopus és/vagy Sci illetve Iconda minősítésű idegen nyelvű folyóiratoknak is. Kérjük, ezeket a periodikákat a felsorolásban jelöljék meg.

- Várkonyi P L: Estimating part pose statistics with application to industrial parts feeding and shape design: new metrics, algorithms, simulation experiments and datasets, IEEE T AUTOM SCI ENG 11: (3) 658-667, 2014
- Domokos G, Varkonyi PL: Geometry and self-righting of turtles, P ROY SOC B-BIOL SCI 275: (1630) 11-17, 2008
- Várkonyi Péter L, Laity Julie E, Domokos Gábor: Quantitative modeling of facet development in ventifacts by sand abrasion, AEOLIAN RES 20: 25-33, 2016

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:
(név/felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)
- Baranyai Tamás/2013/-/-

Melléklet: a téma bővebb leírása

Budapest, 2017 02 27



Témavezető aláírása

⁷ Kérjük, a témavezetési tevékenységre vonatkozó adatokat abban az esetben is adja meg, ha témavezetőként a DI már korábban akkreditálta.

Billegő, ütköző és csúszó rendszerek stabilitása

PhD kutatási téma javaslat

Várkonyi Péter László , BME Csonka Pál Doktori Iskola

A kutatási programban olyan mechanikai rendszereket vizsgálunk, melyek között súrlódás és ütközések léphetnek fel. A két fő kérdés ezekkel kapcsolatban az, hogy hogyan modellezhetőek ezek a fizikai jelenségek, illetve hogyan írható le a rendszerek érintkezés hatására kialakuló dinamikus viselkedése. A témakiírás elsősorban az utóbbi típusú kérdésekre fókuszál.

A súrlódás és az ütközések egyszerű modelljeit évszázadok óta ismerik. Az ütközési szám fogalmát Newton és még korábban Leonardo da Vinci bevezette. A száraz súrlódás legnépszerűbb modellje pedig 17-18. századi fizikusokhoz köthető (C-A. de Coulomb és G. Amontons) [5]. Egyszerűségük ellenére ezek a modellek összetett dinamikai viselkedést okozhatnak. A súrlódás nem sima viselkedése mellett az ütközések hibrid dinamikai viselkedést okoznak, folytonos és ugrásszerű változások kombinációjával. A jellemző viselkedésformák között megfigyelhetők nem-sima átmenetek (megcsúszás, letapadás), pillanatszerű ugrások (ütközések), végtelen számú váltás vagy ugrás véges idő alatt (Zeno viselkedés) [17]), szingularitások (pl. végtelen nagyra növekvő támaszerők [4]), valamint a megoldás nem-egyértelműsége vagy (látszólagos) nem-létezése (Painlevé paradoxonok [1]). Ezek a speciális tulajdonságok szokatlan vizsgálati módszereket igényelhetnek, és korlátozhatják a merev test modellek alkalmazhatóságát [13]. Ugyanakkor változatos alkalmazási lehetőségeik vannak a gépészet, űrkutatás, robotika és szerkezetdinamika területén.

A kutatás során két kérdésre keressük a választ. Keressük egyensúlyi helyzetek Lyapunov stabilitásának, azaz a kicsiny zavarásokkal szembeni stabilitás feltételeit, valamint vizsgáljuk nagy zavarások mellett mutatott viselkedést, és ennek alkalmazását földrengésálló szerkezetek tervezésére.

Lokális stabilitás

A Lyapunov stabilitás egy olyan tulajdonság, amely egy rendszer állapotának végtelenül kicsiny (de azon belül tetszőleges jellegű) megzavarására adott választ jellemzi. A dinamikai rendszerek egyik fontos jellemzője, melyet széles körben használnak a robotikában [8], [15], [12]. Ugyanakkor érintkezési kölcsönhatások esetén nincs kidolgozott módszer a Lyapunov stabilitás vizsgálatára. Gyakorlati feladatokban a mérnökök jellemzően önkényes feltételeket használnak helyette, ami gyakran vezet nem várt stabilitásvesztéshez [11]. Ez motiválta a témakiírót, hogy a kontakt dinamika egy modell problémájában keresse a stabilitás feltételeit [10] [16] [15]. A doktorandusz egyik feladata ennek a feltételnek a továbbfejlesztése lenne, olyan módon, hogy szélesebb körben alkalmazhatóvá váljék. Ehhez felhasználnánk az MIT egyik kutatócsoportja által javasolt automatikus stabilitási tesztet [12], amely elméletben bármilyen rendszerre alkalmazható, de jelenlegi formájában csak kevés esetben ad választ a stabilitás kérdésére.

Nem-lokális stabilitás és földrengésállóság

A billegő szerkezetek meglepő földrengésállósága régóta ismert [6]. A hagyományos épületszerkezetekkel ellentétben ezek felemelkedhetnek a talajtól, majd ütközhetnek azzal, amely jelentős mennyiségű energiát nyelhet el [3] [7] [14]. A földrengések nagy zavarást jelentenek a szerkezet számára, így a földrengésállóság követelménye szigorúbb a Lyapunov stabilitásénál. A szerkezetek viselkedését gyakran jellemzik ún. "rocking spectra" diagramokkal, amely a földmozgás egyes paramétereinek függvényében mutatja a szerkezet választ [9]. A közelmúltban ismerték fel a valódi 3D-s szerkezetek és a klasszikus, síkbeli modellek viselkedése közötti lényeges különbséget [2]. A kutatás célja olyan egyszerű modellek vizsgálata, amellyel egy három dimenziós szerkezet "rocking spectrum"-a előállítható, és a már ismert numerikus eredmények magyarázhatóak. Ezen kívül tervezzük olyan nem szokványos tervezési eszközök vizsgálatát, mellyel a földrengésállóság javítható.

- [1] Champneys, Alan R., and Péter L. Várkonyi. "The Painlevé paradox in contact mechanics." *IMA Journal of Applied Mathematics* 81.3 (2016): 538-588.
- [2] Di Egidio, Angelo, Daniele Zulli, and Alessandro Contento. "Comparison between the seismic response of 2D and 3D models of rigid blocks." *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* 13.1 (2014): 151-162.
- [3] Dimitrakopoulos, Elias G., and Matthew J. DeJong. "Revisiting the rocking block: closed-form solutions and similarity laws." *Proc. R. Soc. A*. Vol. 468. No. 2144. The Royal Society, 2012.
- [4] Génot, Franck, and Bernard Brogliato (1999). "New results on Painlevé paradoxes". *European Journal of Mechanics A*. 18 (4): 653–678
- [5] Halliday, David, Jearl Walker, and Robert Resnick. *Fundamentals of Physics, Chapters 33-37*. John Wiley & Sons, 2010.
- [6] Housner, George W. "The behavior of inverted pendulum structures during earthquakes." *Bulletin of the seismological society of America* 53.2 (1963): 403-417.
- [7] Koh, Aik-Siong, and Ghulani Mustafa. "Free rocking of cylindrical structures." *Journal of engineering mechanics* 116.1 (1990): 35-54.
- [8] Leine, R. I., and N. Van De Wouw. "Stability properties of equilibrium sets of non-linear mechanical systems with dry friction and impact." *Nonlinear Dynamics* 51.4 (2008): 551-583.
- [9] Makris, Nicos, and Dimitrios Konstantinidis. "The rocking spectrum and the limitations of practical design methodologies." *Earthquake engineering & structural dynamics* 32.2 (2003): 265-289.
- [10] Or, Yizhar, and Elon Rimon. "On the hybrid dynamics of planar mechanisms supported by frictional contacts. II: Stability of two-contact rigid body postures." *Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on*. IEEE, 2008.
- [11] Pang, J-S., and J. Trinkle. "Stability characterizations of rigid body contact problems with coulomb friction." *ZAMM- Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* 80.10 (2000): 643-663.
- [12] Posa, Michael, Mark Tobenkin, and Russ Tedrake. "Stability analysis and control of rigid-body systems with impacts and friction." *IEEE Transactions on Automatic Control* 61.6 (2016): 1423-1437.
- [13] Stewart, David E. "Rigid-body dynamics with friction and impact." *SIAM review* 42.1 (2000): 3-39.
- [14] Ther, Tamás, and László P. Kollár. "Refinement of Housner's model on rocking blocks." *Bulletin of Earthquake Engineering*: 1-15.
- [15] Várkonyi, Péter L., and Yizhar Or. "Lyapunov stability of a rigid body with two frictional contacts." *Nonlinear dynamics*, in press.
- [16] Várkonyi, Péter L., David Gontier, and Joel W. Burdick. "On the Lyapunov stability of quasistatic planar biped robots." *Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on*. IEEE, 2012.
- [17] Zhang, Jun, et al. "Zeno hybrid systems." *International journal of robust and nonlinear control* 11.5 (2001): 435-451.