

ZÁRÓJELENTÉS

DINAMIKUS FOLYAMATRENDSZEREK MODELLEZÉSE ÉS IRÁNYÍTÁSA

című OTKA pályázatról

2003 febr. 1. -2006. dec. 31.

(Vezető kutató: Dr. Hangos Katalin)

A dinamikus folyamatrendszerek modellezése és irányítása egy széles, interdiszciplináris ismereteket igénylő tématerület. Ezen belül olyan részterületekre koncentráltunk, amelyek matematikai igényességet kívánnak, és a folyamatmérnöki, valamint a rendszer-és irányításelméleti módszereket integráltan alkalmazó szinergetikus szürke doboz megközelítési igényelnek. A megközelítés alapja a tökéletesen kevert mérlegelési térfogatokból álló folyamatrendszerek termodinamikai, dinamikus mérlegegyenlet alapú modellezése, amely az általános esetben matematikai formáját tekintve differenciál-algebrai egyenletrendszer alakú modellekre vezet.

Kutatásainkat az alábbi résztémák köré csoportosítva végeztük:

1. Számítógéppel segített folyamatmodellezés
2. Nemlineáris folyamatrendszerek analízise és irányítása
3. Diszkrét folyamatrendszer modellek és alkalmazásai

Az egyes résztémák tárgyalásakor röviden ismertetjük az elért legfontosabb eredményeket megemlítve a további munka körvonalazódott irányait, a résztvevő kutatókat beleértve a később csatlakozott PhD hallgatókat és a külföldi együttműködő partnereket, valamint az elkészült és megvédett PhD értekezéseket.

A kutatócsoport a pályázatkor két professzor, Dr. Hangos Katalin és Dr. Tuza Zsolt köré csoportosult 5 fiatal kutatóból állt, akik valamennyien levelező tagozatos, vagy egyéni felkészüléssel PhD hallgatók voltak, ők a pályázati időszakban megszerezték PhD fokozatukat a pályázat témakörében végzett kutatásaik eredményeképpen. A pályázati időszak alatt több fiatal, levelező tagozatos PhD hallgató kutató csatlakozott a pályázathoz, az ő védésük az elkövetkezendő években várható.

1. SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT FOLYAMATMODELLEZÉS

Az általunk kidolgozott módszer alapján a folyamatmodellek számítógéppel segített felállítása és ellenőrzése (verifikációja és validációja) érdekében a dinamikus mérlegegyenletekből származtatott mérnöki modelleket a számítástudomány és a mesterséges intelligencia formális módszereit alkalmazva szintaxissal és szemantikával rendelkező szövegekként (stringekként) kezeljük. Ezt a formális módszert általánosítottuk komplex, több méret és időskála-szintet átfogó folyamatrendszer modellekre is.

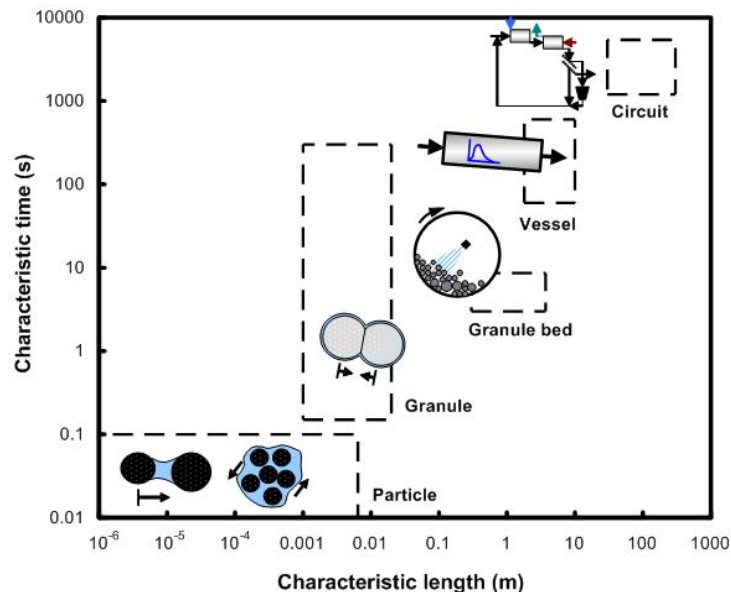
Eredmények

Ugyanazon modellezési célnak eleget tévő folyamatmodellek osztályán a modellek kiszámíthatósági tulajdonságát kifejező ún. méret-indexeket definiáltunk, és ezek segítségével bevezettük a **minimális modell** fogalmát a rendszerelméleti állapotter modellek körében definiált minimális modell fogalmának általánosításaként (Lakner *et al.*, 2005). Eljárásokat javasoltunk minimális modellek felállítására modellredukcióval illetve inkrementális modellépítéssel.

A komplex, nagyméretű folyamatrendszerek dinamikus modellezésére használatos **többléptékű (multi-scale) modellek** integráló keretrendszereinek vizsgálatára (Ingram *et al.*, 2004) alapozva kidolgoztunk egy diagnosztikai cél-vezérelt többléptékű modellezési módszert és egy ezen alapuló intelligens diagnosztikai rendszert (Németh E. *et al.*, 2005).

Kidolgoztuk a többléptékű rendszerek ún. **skálatérkép**en alapuló modell-egyszerűsítésének módszerét (Németh E. *et al.*, 2005). Az 1. ábrán egy granulációs üzem skálatérképe látható a nagy bonyolultságú rendszerekben általánosan alkalmazott idő- és méretléptékek feltüntetésével, amely segítségével az összetett rendszerek fiziko-kémiai jelenségei rendszerint jól ábrázolhatók.

A folyamatmérnöki többléptékű modellek analógiájára kidolgoztunk egy, a többléptékű biomechanikai rendszerek modellezésére és lépték-analízisére alkalmas keretrendszert is. További kutatást tervezünk többléptékű biomechanikai és biokémiai rendszerek modellezése és lépték analízise témakörében.



1. ábra: Skálatérkép

Résztevő kutatók: Hangos Katalin, Németh Erzsébet, Piglerné Lakner Rozália

Később csatlakozott kutató (PhD hallgató): Fazekas Csaba

Külföldi együttműködő partnereink: Prof. Ian Cameron és Gordon Ingram, The University of Queensland (Brisbane, Ausztrália)

PhD értekezések:

- Lakner Rozália: Számítógéppel segített folyamatmodellezés. Veszprémi Egyetem, Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Veszprém, 2003.
- Gordon Ingram: Multiscale modelling and analysis of process systems, The University of Queensland, Brisbane, Ausztrália, 2005.

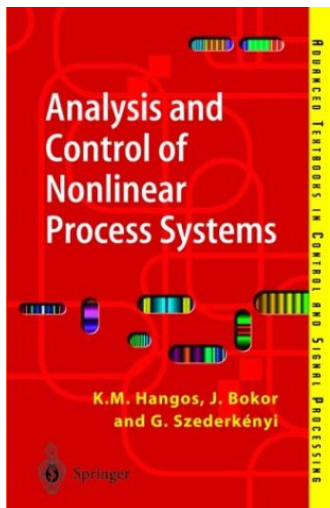
2. NEMLINEÁRIS FOLYAMATRENDSZEREK ANALÍZISE ÉS IRÁNYÍTÁSA

Eredmények

2004-ben megjelent a Springer kiadónál az a könyvünk (fedőlapja a 2. ábrán látható), amely több éves, az OTKA által is támogatott kutatásaink eredményeit foglalja össze.

Vizsgálatokat folytattunk a **kvázipolinom modellekkel leírható folyamatrendszerek** stabilitásának és stabilizáló szabályozóinak tervezése témakörében. Lineáris mátrix egyenlőtlenségekkel leírható feltételeket adtunk a stabilitásra és kvadratikus hamiltoni struktúrák létezésére (Szederkényi, Hangos, 2004). Az idő-átparaméterezési transzformáció alkalmazásával ezen elégséges feltételeket a rendszerek egy tágabb osztályára is kiterjesztettük és vizsgálati módszert adtunk rájuk bilineáris mátrix egyenlőtlenségek megoldásával (Szederkényi et al., 2005). Módszert adtunk statikus kvázipolinom alakú visszacsatolás struktúrájának és paramétereinek tervezésére bilineáris mátrix egyenlőtlenségek megoldásával. Kifejlesztettünk továbbá egy polinomiális idejű algoritmust, amelynek segítségével kvázipolinom alakba transzformált modellek invariánsai (pl. megmaradó fizikai mennyiségei) számíthatók ki a speciális algebrai struktúra felhasználásával (Pongrácz et al, 2006).

A kvázipolinom rendszerosztálynál szigorúbb feltételeknek eleget tevő ún. reakciókinetikai rendszerek stabilitásvizsgálatában és stabilizáló visszacsatolások tervezésében is értünk el kezdeti eredményeket. Ilyen irányú vizsgálatainkat folytatni kívánjuk ezen rendszerek lokális hamiltoni leírásának kidolgozásával, és az eredményeknek biokémiai (enzimkinetikai) reakció-rendszerekre történő alkalmazásával.



K. M. Hangos, J. Bokor, G. Szederkényi. *Analysis and Control of Nonlinear Process Systems*. Springer-Verlag, London, 2004, 308p

2. ábra

Egy teherjárművek pneumatikus fékrendszereiben alkalmazott elektromágneses vezérlésű biztonsági szelep leírható **vegyes termodinamikai (folyamat) és mechanikai rendszerként**. A nemlineáris mechanikai-folyamat vegyes rendszerek modellezése és irányítása területén elért elméleti eredmények alkalmazásával felállítottuk a szelep dinamikus modelljét, amelyet az identifikáció és a szabályozótervezés céljából egyszerűsítettünk (Németh H. *et al.*, 2005), majd az egyszerűsített modell paramétereit megbecsültük. Ezután terveztük meg a szelep előrecsatolt bang-bang irányítási algoritmusát és a szabályozó próbapadon megvalósított prototípusát.

Elkészítettük egy másik, vegyes mechanikai és folyamatrendszer típusú nemlineáris rendszer, egy gázturbina kvázipolinom alakú modelljét és ennek alapján a rendszer zéró-dinamikájának stabilitásvizsgálatára is módszert adtunk.

Kezdeti eredményeket értünk el erősen nemlineáris biomechanikai rendszerek mérnöki szabályozóinak tervezése területén, ahol egy egyszerű nemlineáris karmodellre terveztünk input-output linearizáláson alapuló nemlineáris szabályozókat. További vizsgálatokat tervezünk a nemlineáris biomechanikai és biokémiai rendszerek identifikációja és szabályozóinak tervezése témakörében.

Résztevő kutatók: Ailer Piroska, Hangos Katalin, Pongrácz Barna, Szederkényi Gábor

Később csatlakozott kutatók (PhD hallgatók): Fazekas Csaba, Magyar Attila, Németh Huba, Rozgonyi Szabolcs

Külföldi együttműködő partnereink: Prof. Antonio A. Alonso és Irene Otero-Muras, IIM-CSIC (Vigo, Spanyolország)

PhD értekezések:

- Ailer Piroska.: Kisteljesítményű gázturbina modellezése és nemlineáris irányítása. PhD Dissertation, BME, Közlekedésmérnöki Kar Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2003
- Németh Huba: Nonlinear modelling and control for a mechatronic protection valve. Budapest University of Technology and Economics, Hungary, 2004.

3. DISZKRÉT FOLYAMATRENDSZER MODELLEK ÉS ALKALMAZÁSAIK

A diszkrét folyamatrendszer modellek egy része a rendszermodell szerkezetét írja le kombinatorikus eszközökkel, leggyakrabban gráfokkal. Ezek felhasználhatók a rendszermodellek kiszámíthatósági és dinamikus tulajdonságainak vizsgálatára és a modellek dekompozíciójára is.

Az intelligens és diszkrét folyamatirányítás területén ún. diszkrét eseményű rendszermodelleket alkalmaznak. Ezek egyik hatásos leírási módja az úgynevezett színezett Petri háló, kutatásainkban ezt a leírást használtuk.

Eredmények

A folyamatrendszer modellek egyenlet-változó struktúra gráfjának segítségével gráfelméleti módszert adtunk annak vizsgálatára, hogy a mérnöki gyakorlatban használt

modell-egyszerűsítő lépések hogyan befolyásolják a modell egyik legfontosabb kiszámíthatósági tulajdonságát, az ún. differenciális indexet (Hangos *et. al.*, 2004).

A folyamatrendszer modellek optimális dekompozíciója érdekében új módszereket adtunk **fokszám-feltételeknek eleget tevő gráfpartíciók** előállítására. A folyamatrendszerek állapotgráfjára lefordítva ez a fokszám (“degree of coupling”) alacsony értéken való tartását célozza. Közleményeinkben a két osztályra bontásra koncentráltunk, ugyanakkor az eredmények tetszőlegesen adott (rögzített) számú osztályra is általánosíthatók. Az algoritmikus bonyolultság mostanáig nyitott kérdését megválaszolva bebizonyítottuk, hogy a megengedett partíció létezésének eldöntése már akkor is NP-teljes, ha csak azt írjuk elő, hogy minden csúcs szomszédainak legalább fele a saját osztályában legyen. Ugyanez a komplexitás érvényes abban az esetben is, ha a két csúcsoosztálynak egyenlő elemszámúnak kell lennie (Bazgan *et al.*, 2006a,b).

A bonyolult, többléptékű folyamatrendszerek diagnosztikája a modell optimális dekompozíciója mellett a különböző típusú diagnosztikai részfeladatok együttes kezelését igényli. Kidolgoztunk egy ilyen, heterogén ismereteket is integráltan leírni képes **multi-ágens alapú diagnosztikai rendszert**, amellyel lehetővé vált a mérnöki dinamikus modellek, valamint a heurisztikus információk egységes környezetben való kezelése (Lakner *et al.*, 2006). Ebben az irányban is tovább kívánjuk folytatni kutatásainkat.

A nemlineáris folyamatmodellek egy igen nehezen kezelhető osztályát alkotják az ún. **hibrid rendszerek**, amelyek a folytonos rendszerelemek mellett diszkrét eseményű részrendszereket is tartalmaznak. Bonyolult atomerőművi folyamatrendszerek, egy primerkörü nyomásszabályozó tartály, valamint a teljes primerkör példáján megmutattuk, hogy a megmaradási elvekből kiindulva a folyamat dinamikáját jól leíró minimális modellek építhetők. További kutatásainkban ezeket használjuk szabályozótervezésre, és biztonsági eljárások formális, színezett Petri hálókön alapuló verifikációjára.

Résztvevő kutatók: Hangos Katalin, Németh Erzsébet, Píglerné Lakner Rozália, Szederkényi Gábor, Tuza Zsolt

Külföldi együttműködő partnereink: Prof. Ian Cameron, The University of Queensland (Brisbane, Ausztrália)

PhD értekezés:

- Németh Erzsébet: Predikción alapuló diagnosztika mesterséges intelligencia módszerek felhasználásával, Pannon Egyetem, Veszprém, 2006.

IRODALOMJEGYZÉK

- C. Bazgan, Zs. Tuza., D. Vanderpooten: *The satisfactory partition problem*, Discrete Applied Mathematics **154** (8): 1236–1245, 2006
- C. Bazgan, Zs. Tuza, D. Vanderpooten: *Degree-constrained decompositions of graphs: bounded treewidth and planarity*, Theoretical Computer Science **355** (3): 389–395, 2006
- K. M. Hangos, J. Bokor, G. Szederkényi: *Analysis and Control of Nonlinear Process Systems*. Springer-Verlag, London, 2004, 308p

- K. M. Hangos, G. Szederkényi, Zs Tuza.: *The effect of model simplification assumptions on the differential index of lumped process models*, Computers and Chemical Engineering. **28**: 129-137, 2004
- G.D. Ingram, I.T. Cameron, K.M. Hangos: *Classification and analysis of integrating frameworks in multiscale modelling*, Chemical Engineering Science **59** (11): 2171-2187, 2004
- R. Lakner, K.M. Hangos, I.T. Cameron: *On minimal models of process systems*, Chemical Engineering Science, **60**(4): 1127-1142, 2005
- R. Lakner, E. Németh, K.M. Hangos, I.T. Cameron: *Multiagent realization of prediction-based diagnosis and loss prevention*, 19th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE'06), Annecy, France, LNAI 4031, pp. 70-80, 2006
- E. Németh, Cameron, I.T., Hangos, K.M.: *Diagnostic goal driven modelling and simulation of multiscale process systems*, Computers and Chemical Engineering, **29**: 783-796, 2005
- E. Németh, R. Lakner, K.M. Hangos: *Diagnostic goal-driven reduction of multiscale process models*, Model Reduction and Coarse-Graining Approaches for Multiscale Phenomena, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, ISBN 3-540-35885-4, pp. 465-487, 2006
- H. Németh, L. Palkovics, K.M. Hangos: *Unified model simplification procedure applied to a single protection valve*, Control Engineering Practice, **13**(3) : 315-326, 2005
- B. Pongrácz, G. Szederkényi, K.M. Hangos: *An algorithm for determining a class of invariants in quasi-polynomial systems*, Computer Physics Communications **175**: 204-211, 2006
- G. Szederkényi, K. M. Hangos: *Global stability and quadratic Hamiltonian structure in Lotka-Volterra and quasi-polynomial systems*, Physics Letters A. **324**: 437-445, 2004
- G. Szederkényi, K.M. Hangos, A. Magyar: *On the time-reparametrization of quasi-polynomial systems*, Physics Letters A **334**(4): 288-294, 2005