

NEMLINEÁRIS RENDSZEREK
MÉRNÖKI ALAPELVEKEN ALAPULÓ
MODELLEZÉSE, DINAMIKUS ANALÍZISE ÉS
DIAGNOSZTIKÁJA

HANGOS KATALIN

(Bemutató előadás)

Életrajzi adatok

Tanulmányok és tudományos fokozatok

- okl. vegyész, ELTE TTK, 1976
- okl. progr. matematikus, ELTE TTK, 1980
- kémiai tudomány kandidátusa, 1984; kémiai tudomány doktora, 1993
- habilitáció műszaki informatika, VE, 2000

Munkahelyek

- **MTA SzTAKI 1978 óta**
- egyetemi tanár a Veszprémi majd Pannon Egyetemen (1996 - 2005 és 2008 óta)
- vendégprofesszor, Department of Chemical Engineering, The University of Queensland (Ausztralia), évente átlagosan 1 hónap 1997 óta

Mérnöki felfedező kutatás

Kutatási terület: rendszer- és irányításelmélet

Nemlineáris rendszerek *mérnöki alapelveken alapuló* **Dinamikus modellezése**

- minimális modellek
- pozitív rendszerek realizációi (kinetikai, kvázi-polinomiális)
- identifikáció, identifikálhatóság

Dinamikus analízise

- stabilitás, stabilitási tartomány
- irányíthatóság

Diszkrét eseményű rendszermodelleken alapuló diagnosztikája

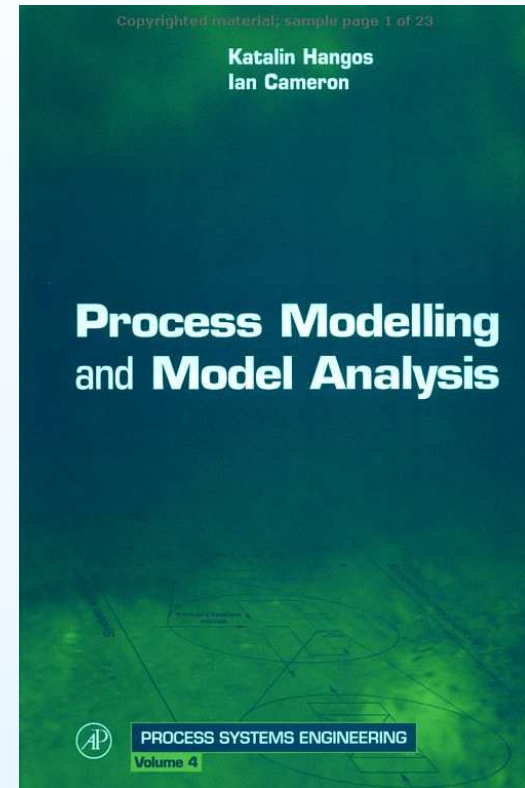
Mérnöki alkalmazási területek

- energetikai rendszerek
- (bio)kinetikai rendszerek, folyamatrendszerek
- kvantumrendszerek

A megmaradás elvének alkalmazása

A mérnöki alapelvekre támaszkodó

- modellek felállítására
dinamikus mérlegegyenletek: szintaxis
és szemantika
minimális modellek
- lineáris első integrálok
előállítására
irányíthatósági analízis
realizáció-elmélet



(104 idéző)

Hangos, K. M. and I. T. Cameron: Formal Representation of Assumptions in Process Modelling. *Computers and Chemical Engineering*, **25** : 237-255 (2001), (12 idéző)

Ingram, G.D., Cameron, I.T., Hangos, K.M.: Classification and analysis of integrating frameworks in multiscale modelling. *Chemical Engineering Science*, **59** : 2171-2187 (2004), (51 idéző)

Megmaradási elveken alapuló modellek

Atomerőművi primerköri dinamikus modell

Dinamikus mérlegegyenletekből származó minimális modell

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\beta}{\Lambda} (p_1 v^2 + p_2 v + p_3) N + S, \quad W_R = c_{\Psi 1} N$$

$$\frac{dT_{PC}}{dt} = \frac{1}{c_{p,PC} M_{PC}} \left[c_{p,PC} m_{in} (T_{PC,I} - T_{PC,CL}) + W_R - 6 \cdot K_{T,SG_1} (T_{PC} - T_{SG}) - K_{loss,PC} (T_{PC} - T_{out}) \right]$$

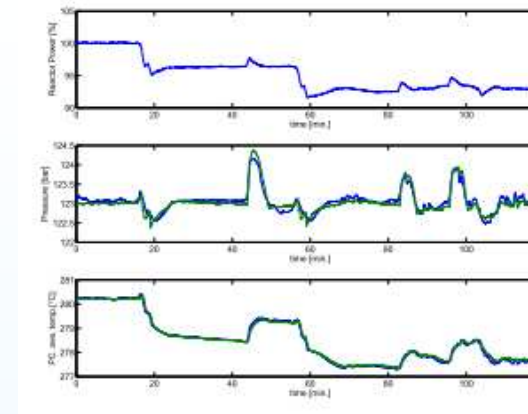
$$\frac{dT_{SG}}{dt} = \frac{1}{c_{p,SG}^L M_{SG}} \left[c_{p,SG}^L m_{SG} T_{SG,SW} - c_{p,SG}^V m_{SG} T_{SG} - m_{SG} E_{evap,SG} + K_{T,SG_2} (T_{PC} - T_{SG}) - W_{loss,SG} \right]$$

$$\frac{dT_{PR}}{dt} = \frac{1}{c_{p,PR} M_{PR}} \left[\chi_{m_{PR} > 0} c_{p,PC} m_{PR} T_{PC,HL} + \chi_{m_{PR} < 0} c_{p,PR} m_{PR} T_{PR} - c_{p,PR} m_{PR} T_{PR} - W_{loss,PR} + W_{heat,PR} \right]$$

$$p_{SG} = p_*^T(T_{SG})$$

$$p_{PR} = p_*^T(T_{PR})$$

$$\ell_{PR} = \frac{1}{A_{PR}} \left(\frac{M_{PC}}{\varphi_{PC}(T_{PC})} - V_{PC}^0 \right)$$



Fazekas Cs, Szederkényi G, Hangos K M: Parameter estimation of a simple primary circuit model of a VVER plant, *IEEE Trans. Nuclear Science*, **55**: 2643-2653 (2008)

Rejtett megmaradások: lineáris első integrálok

Nemlineáris irányíthatósági analízis

Félfolytonos fermentor állapotter modell

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ S \\ V \end{bmatrix}, \quad u = F$$

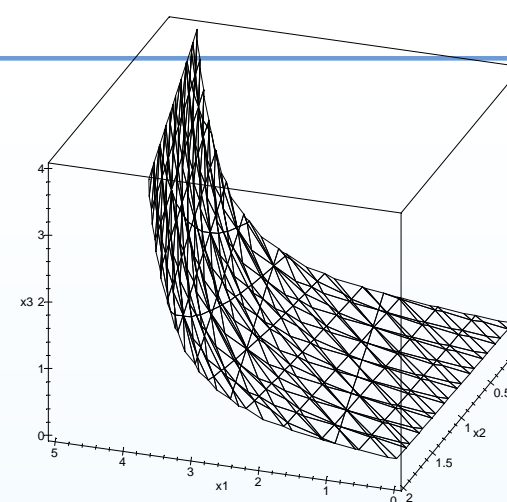
$$f(x) = \begin{bmatrix} \mu(x_2)x_1 \\ -\frac{1}{Y}\mu(x_2)x_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\mu_{max}x_2x_1}{k_1+x_2+k_2x_2^2} \\ -\frac{\mu_{max}x_2x_1}{(k_1+x_2+k_2x_2^2)Y} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad g(x) = \begin{bmatrix} -\frac{x_1}{x_3} \\ \frac{S_f-x_2}{x_3} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Page 1

"Rejtett megmaradó mennyiség": $\lambda(x_1, x_2, x_3) = V(S_f - S) + \frac{1}{Y}V(X_f - X)$

Szederkényi G, Kovács M, Hangos KM: Reachability of nonlinear fed-batch fermentation processes

International Journal of Robust and Nonlinear Control, **12**: 1109-1124 (2002)



Kvantum rendszerek

Véges állapotú kvantumrendszerek és kvantum csatornák

állapottér realizációk és állapotbecslés

(kvantum bit, mérés zavaró hatása)

kvantum Pauli csatornák (általánosított is)

kísérlettervezés

optimalizációs és valószínűségi módszerek

Állapottér ($\rho \geq 0$, $\rho^* = \rho$, $\text{Tr}(\rho) = 1$), kvantum bitnél

$$\rho = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 + \theta_3 & \theta_1 - i\theta_2 \\ \theta_1 + i\theta_2 & 1 - \theta_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \left(I + \sum_{i=1}^3 \theta_i \sigma_i \right)$$

Transzformációk

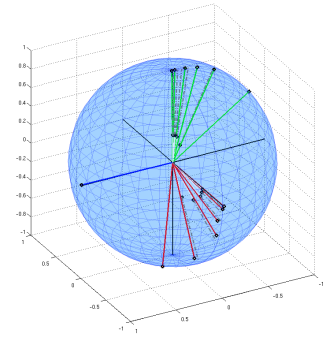
dinamika: Hamiltoni, unitér transzformáció

kvantum csatorna: POVM, hasonlósági transzformáció

mérés: vetítés az obszervábilis irányára, **véletlen természetű**

Petz D, Hangos K M, Magyar A: Point estimation of states of finite quantum systems, *Journal of Physics A*, **40**: 7955-7969 (2007)

Balló G, Hangos K M, Petz D: Convex Optimization-Based Parameter Estimation and Experiment Design for Pauli Channels. *IEEE Trans. Automatic Control*, **57**: 2056-2061 (2012)



A termodinamika második főtételének alkalmazása

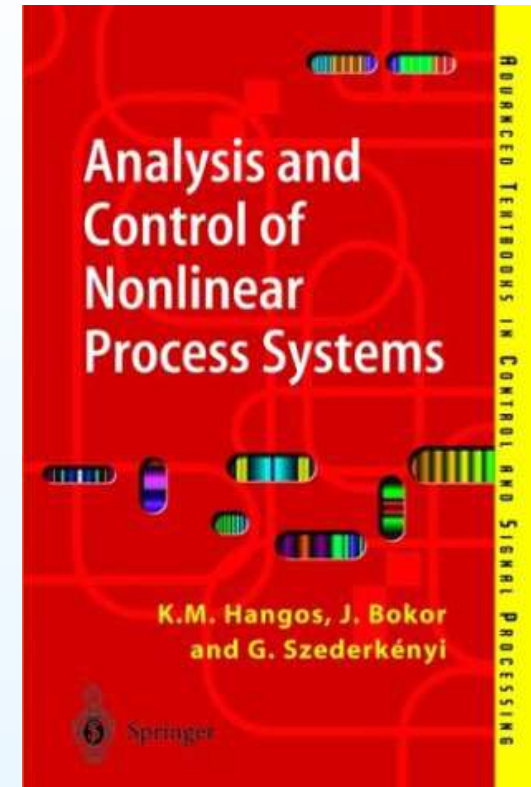
Nemlineáris rendszerek stabilitásvizsgálata és stabilizáló szabályozói

- **entrópia alapú Ljapunov függvény**

pozitív polinomiális rendszerek
 (reakciókinetikai, kvázipolinom)
 algebrai (LMI, BMI) és struktúrális
 analízis módszerek

- **Hamiltoni leírás**

folyamatrendszerre
 reakciókinetikai és kvázipolinom) rendszerekre



(71 idéző)

Hangos, K. M., A. A. Alonso, J. D. Perkins, B. E. Ydstie: Thermodynamic approach to the structural stability of process plants. *AIChE Journal*, **45** : 802-816 (1999), (53 idéző)

Otero-Muras I, Szederkényi G, Alonso A A, Hangos K M: Local dissipative Hamiltonian description of reversible reaction networks *Systems and Control Letters*, **57**: 554-560 (2008), (17 idéző)

Kvázipolinom és reakciókinetikai rendszerek

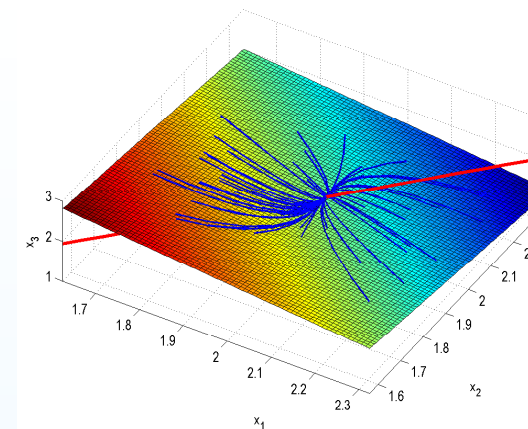
Pozitív polinomiális nemlineáris rendszerek

általános sima nemlineáris rendszerosztályok

Dinamikus rendszermodell

Változók $x_i, i = 1, \dots, n$ és log-változók $\ln x_i, i = 1, \dots, n$

vektor-forma: $X = [x_1, \dots, x_n]^T, \underline{\ln} X = [\ln x_1, \dots, \ln x_n]^T$



QP

$$\frac{d\underline{\ln} X}{dt} = \Lambda + A \cdot Q$$

$$\underline{\ln} Q = B \cdot \underline{\ln} X$$

CRN

$$\frac{dX}{dt} = Y A_k \cdot Q$$

$$\underline{\ln} Q = Y \cdot \underline{\ln} X$$

DynSymLIN

$$\frac{dX}{dt} = M \cdot (X - X^*)$$

$$M = B \cdot A$$

Entrópia alapú Ljapunov függvény és deriváltja QP rendszerekre

$$V(Q) = \sum_{j=1}^m c_j \left((q_j - q_j^*) - q_j^* (\ln q_j - \ln q_j^*) \right)$$

$$\dot{V}(Q) = \frac{1}{2} (Q - Q^*)^T \cdot \left(\underline{\text{diag}} C \cdot M + M^T \cdot \underline{\text{diag}} C \right) (Q - Q^*)$$

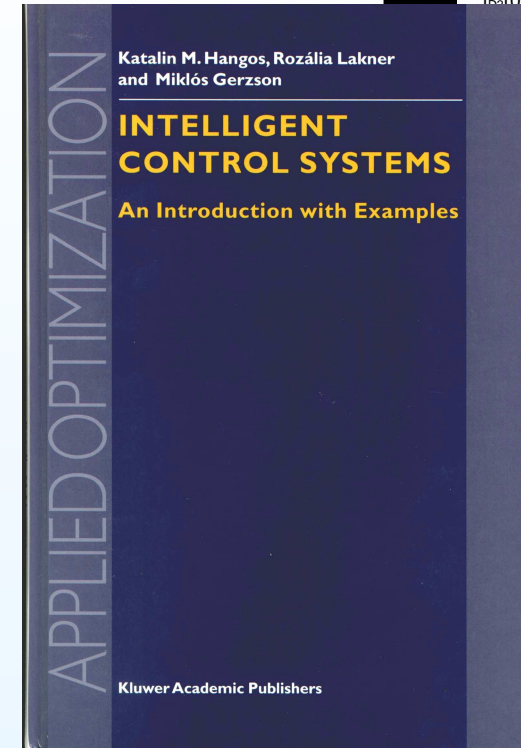
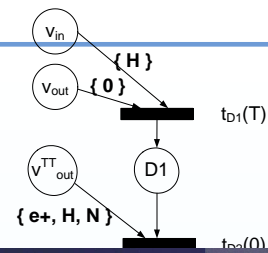
Hangos KM, Szederkényi G: The underlying linear dynamics of some positive polynomial systems,

Physics Letters A, **376**: 3129-3134 (2012)

Diszkrét eseményű modellek

Diagnosztika diszkrét módszerekkel

- **biztonság-analízis modellekkel**
FMEA-HAZOP információk felhasználása
szintaxis, szemantika, következtetés
- **színezett Petri háló alapú diagnosztika**
kvalitatív modellek, kvalitatív predikció
elérhetőségi analízis
folyamatbányászat, struktúra analízis

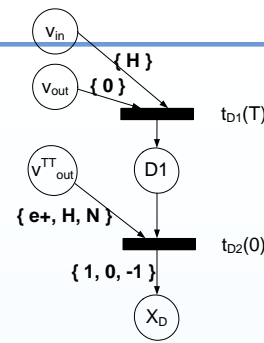


(21 idéző)

Németh E, Lakner R, Hangos K M, Cameron I T: Prediction-based diagnosis and loss prevention using qualitative multi-scale models, *Information Sciences*, **177**: 1916-1930 (2007)

Szücs A, Gerzson M, Hangos KM: An intelligent diagnostic system based on Petri nets, *Comput. ar Chem. Engng.*, **22**: 1335-1344 (1998)

Alkalmazás komplex folyamatrendszerekben



Intelligens diagnosztikai feladatok

- többléptékű modellezés**

diagnosztikai célra, folyamatábra által vezérelten

- FMEA és HAZOP egyesítése**
meghibásodás-analízis (FMEA) és veszteségelemzés (HAZOP)

diagnosztikai felhasználása

- diagnosztikai következtetés**

az egyesített FMEA-HAZOP-on

- operátori eljárások**

követésén alapuló diagnosztika

Deviation	Possible causes	Consequences
<NO><Feed to TB (F2)>	(1) <VB><is><closed> (2) <VA><is><closed> (3) <L><is><ruptured> (4) <L><is><blocked> (5) <NO><Feed to PA>	* <NO><Feed to press> * <NO><Feed to VC>
<NO><Feed to PA (F1)>	(1) <TA><is><broken> (2) <TA><is><leaked> (3) <L1><is><leaked> (4) <TA><is not><filled> (5) <PA><does not possess><capability to pump>	* <NO><Feed to press> * <NO><Feed to VA>

Component	Description	Failure mode	Possible causes	Effects	
				Local	System
VB	TB inflow control valve	Closed	mechanical fail closed operator closed	<NO><Feed to TB>	<NO><Feed to press>
		Opened	mechanical fail opened operator opened	<MORE><Feed to TB>	<MORE><Feed to press>
		Stuck	maintenance failure corrosion	<LESS><Feed to TB>	<LESS><Feed to press>
TA	Bulk tank TA	Broken	corrosion vehicle damage operator damage	<NO><Feed to PA>	<NO><Feed to press>
		Leaked	corrosion	<LESS><Feed to PA>	<LESS><Feed to press>

Australian Research Council által finanszírozott project

B J Seligmann, E Nemeth, K M Hangos, I T Cameron: A blended hazard identification methodology

to support process diagnosis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **25**: 746-759

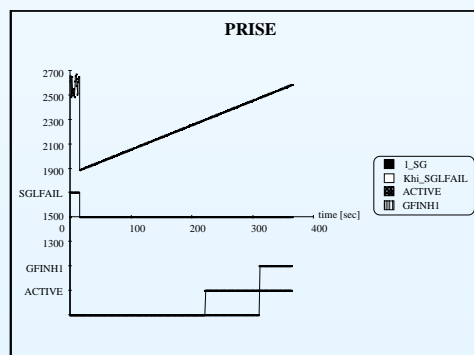
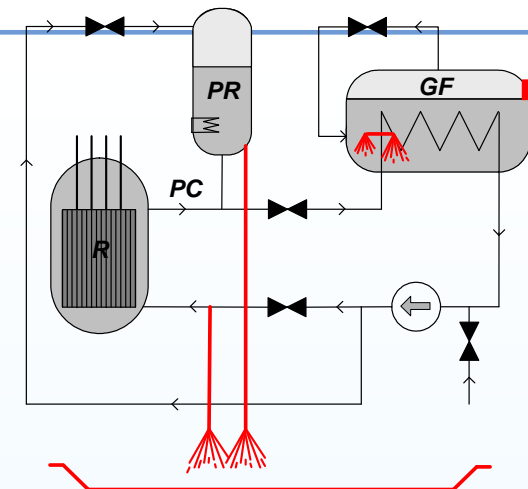
(2012)

Alkalmazás a Paksi Atomerőműben

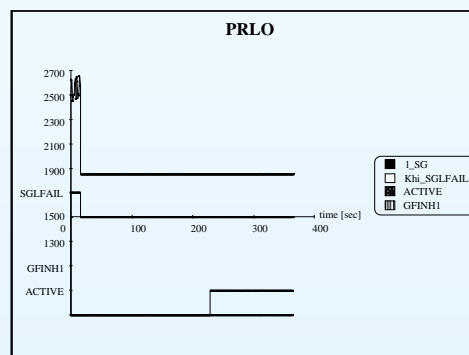
A primer-szekunderköri (PRISE) átfolyás detektáló biztonsági eljárás verifikációja:

Feladat: Modell alapú formális verifikáció

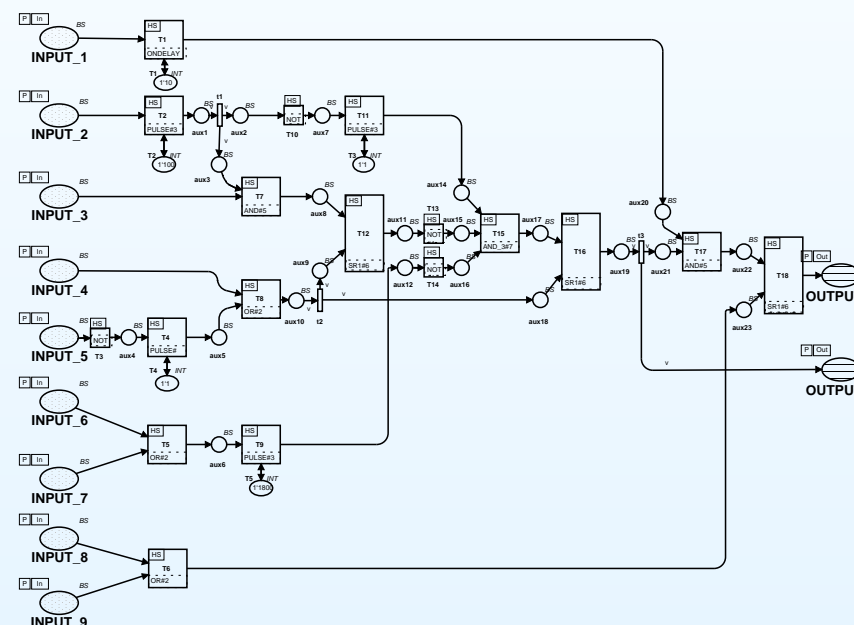
- DINAMIKUS MÉRLEGEGYENLETEKBŐL SZÁRMAZÓ SZÍNEZETT PETRI HÁLÓ MODELL



primer-szekunder
átfolyás (PRISE)



nyomásszab. tartály
lyukadás (PRLO)



biztonsági
eljárás

Németh E, Bartha T, Fazekas Cs, Hangos K M: Verification of a primary-to-secondary leaking safety procedure in a nuclear power plant using coloured Petri nets. *Reliability Engineering and System Safety*, 94: 942-953 (2009)

Kutatási teljesítmény

Saját közlemények száma: 352

Könyvek nemzetközi kiadónál: 4

Cikkek IF-al: 83

Független idézetek száma: 752

WoS-beli hivatkozás: 382

Összegzett impakt faktor: 66,451

Várható IF-ek összege: 15,845

IF Összesen: 82,296

Folyóiratok:

IEEE Trans. Automatic Control, Control Engineering Practice, Journal of Process Control, Systems and Control Letters, Control Engineering Practice, Physics Letters A, Journal of Physics A; Nuclear Engineering and Design, IEEE Trans. Nucl. Engng AIChE Journal, Chemical Engineering Science, Computers and Chemical Engineering, etc.

Phd-t szerzett tanítványok: 16

Tanítványaim: volt és jelenlegi PhD hallgatók

