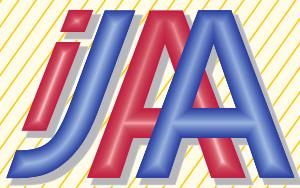


INTERNATIONAL JOURNAL AUTOMATION AUSTRIA



Heft 1 im Jahrgang 22 (2014)

Inhalt

Seite

WEINMANN, A. 1

Decoupling and Desensitizing of the Initial-Condition
Transitive Properties

BERICHT über den 19. IFAC Weltkongress 18

24. bis 29. August, Kapstadt, Südafrika

BERICHT über das 9. IFAC-Symposium 22

„Nonlinear Control Systems - NOLCOS 2013“, Toulouse



"International Journal Automation Austria" (IJAA) publishes top quality, peer reviewed papers in all areas of automatic control concerning continuous and discrete processes and production systems.

Only original papers will be considered. No paper published previously in another journal, transaction or book will be accepted. Material published in workshops or symposia proceedings will be considered. In such a case the author is responsible for obtaining the necessary copyright releases. In all cases, the author must obtain the necessary copyright releases before preparing a submission. Papers are solicited in both theory and applications

Before preparing submissions, please visit our instructions to authors (see back cover) or web page.

Copyright © IFAC-Beirat. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored, transmitted or disseminated, in any form, or by any means, without prior written permission from IFAC-Beirat, to whom all requests to reproduce copyright material should be directed, in writing.

International Journal Automation Austria also is the official executive authority for publications of IFAC-Beirat Österreich.

Imprint: Propagation of Automatic Control in Theory and Practice.

Frequency: Aperiodically, usually twice a year.

Publisher: IFAC-Beirat Österreich, Peter Kopacek, Alexander Weinmann

Editors in Chief: Alexander Weinmann, Peter Kopacek

Coeditors:	Dourdoumas, N. (A)	Fuchs, H. (D)	Horn, M. (A)
	Jakubek, S. (A)	Jörgl, H. P. (A)	Kugi, A. (A)
	Noe, D. (SLO)	Schaufelberger, W. (CH)	Schlacher, K. (A)
	Schmidt, G. (D)	Troch, I. (A)	Vamos, T. (H)
	Wahl, F. (D)		

Address: 1) Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (E376), TU Wien,
A-1040 Wien, Gußhausstrasse 27-29, Austria

Phone: +43 1 58801 37677, FAX: +43 1 58801 37699

email: danzinger@acin.tuwien.ac.at

Homepage: <http://www.acin.tuwien.ac.at/publikationen/ijaa/>

2) Intelligente Handhabungs- und Robotertechnik (E325/A6), TU Wien,
A-1040 Wien, Favoritenstrasse 9-11, Austria
email: e318@ihrt.tuwien.ac.at

Layout: Rainer Danzinger

Printing: Grafisches Zentrum an der TU Wien

Decoupling and Desensitizing of the Initial-Condition Transitive Properties

Alexander Weinmann, OVE, Life Senior Member IEEE

Vienna University of Technology, Institute of Automation and Control

Gusshausstrasse 27-29/376, A-1040 Vienna / Austria

Phone: +43 1 58801 37611, Fax: +43 1 58801 37699

email: weinmann@acin.tuwien.ac.at

Manuscript received March 5, 2014

Entkopplung und Desensitivierung der Übergabe-Eigenschaften der Anfangsbedingungen

Abstract

Decoupling and reducing the sensitivity of the initial-value transfer matrix is considered in this article. The results replace the interest in obtaining robust properties. The initial-value transfer matrix and its sensitivity are designed converging to a modified diagonal matrix and to a premultiplication operator. The problem of matrix interdependencies in the concrete transfer matrix is managed, as well.

Die Entkopplung der transitiven Eigenschaften der Anfangsbedingungen und die Reduktion ihrer Sensitivität wird untersucht. Die Ergebnisse können an die Stelle robuster Eigenschaften treten. Die Empfindlichkeit der Übergabematrix der Anfangsbedingungen werden in eine Darstellung gebracht, die nur einen Operator in Form eines Vormultiplikators aufweist. Das Problem der dabei auftretenden inneren Matrixabhängigkeiten wird auch berücksichtigt.

Keywords: Initial values, initial-value decoupling, matrix interdependencies, initial-condition sensitivity operator

1 Introduction. Initial Conditions in Case of Transfer Function Zeros

A dynamical system with general transfer matrix is considered. At the time origin an input $x_e(t)$ is applied to the system. The output result $x_a(t)$ shows a reaction characterized by the so-called natural initial conditions (*Föllinger, O., 1961; Wunsch, G., 1971; Weinmann, A., 1988*). These well-known results are reconsidered with respect of obtaining some decoupling and/or some desensitizing the transfer properties versus system parameters.

Any given transfer function $G(s)$ is written in an arrangement $\alpha_0 = 1, \beta_0 = 1$ in what follows

$$\sum_0^n \alpha_i x_a^{(i)}(t) = \sum_0^n \beta_i x_e^{(i)}(t), \quad G(s) = \frac{\sum_{i=0}^n \beta_i s^i}{\sum_{i=0}^n \alpha_i s^i} = \frac{\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{s}}{\boldsymbol{\alpha}^T \mathbf{s}}, \quad \mathbf{s} = (s^0 \ s^1 \ s^2 \ \dots \ s^{n-1})^T. \quad (1)$$

Using the definitions

$$\mathbf{x}_a(t) \triangleq (x_a(t) \ \dot{x}_a(t) \ \ddot{x}_a(t) \dots x_a^{(n-1)})^T \quad \mathbf{x}_e(t) \triangleq (x_e(t) \ \dot{x}_e(t) \ \ddot{x}_e(t) \dots x_e^{(n-1)})^T \quad (2)$$

and $x_{a0} = x_a(0^+)$, $x_{a1} = \dot{x}_a(0^+)$ etc.

$$\mathbf{x}_a(0^+) \triangleq (x_{a0} \ x_{a1} \ x_{a2} \dots x_{a,n-1})^T \quad \mathbf{x}_e(0^+) \triangleq (x_{e0} \ x_{e1} \ x_{e2} \dots x_{e,n-1})^T \quad (3)$$

$$\mathbf{A}_D \triangleq \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \dots & \dots & \alpha_n \\ \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 & \dots & \alpha_n & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 \\ \alpha_{n-1} & \alpha_n & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \mathbf{matrix}[A_{Dij}] = \mathbf{matrix}[\alpha_{i+j-1}] \quad \forall \alpha_\mu = 0 \ \mu > n \quad (4)$$

$$\mathbf{B}_D \triangleq \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \dots & \dots & \beta_n \\ \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 & \dots & \beta_n & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 \\ \beta_{n-1} & \beta_n & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \beta_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \mathbf{matrix}[B_{Dij}] = \mathbf{matrix}[\beta_{i+j-1}] \quad \forall \beta_\mu = 0 \ \mu > n, \quad (5)$$

$$\text{e.g., for } n = 3 \quad \mathbf{A}_D \triangleq \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \alpha_2 & \alpha_3 & 0 \\ \alpha_3 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{B}_D \triangleq \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \beta_2 & \beta_3 & 0 \\ \beta_3 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

the so-called natural (normal) initial conditions resulting from performing transient initialization are given as

$$\mathbf{x}_a(0^+) = \underbrace{\mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}_{\mathbf{L}_{ae} \triangleq \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D} \cdot \mathbf{x}_e(0^+) + \mathbf{x}_a(0^-) = \mathbf{L}_{ae} \cdot \mathbf{x}_e(0^+) + \mathbf{x}_a(0^-) \quad (7)$$

$$\mathbf{L}_{ae} = \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D = \text{triang}^{-1}(\mathbf{a}) \cdot \text{triang}^{-1}(\mathbf{b}) . \quad (8)$$

Usually, the initial state $t = 0^-$ is considered resulting from $t \leq 0$; however, Laplace transform requires 0^+ , numerical computation as well.

The matrix \mathbf{L}_{ae} only vanishes if all $\beta_i = 0 \quad \forall i = 1 \dots n$, i.e., there is no zero in $G(s)$ except at infinity (*Föllinger, O., 1961; Wunsch, G., 1971; Weinmann, A., 1988*).

Studying the robustness in case of parameter uncertainties, the differential dependence of \mathbf{L}_{ae} on parameters α_i, β_i is of interest. This problem is a bit more complicated because the matrices involved are characterized by manifold elements of the same size and, hence, derivate relations based on partial differential quotients are not valid.

The initial values are interdependent if the transfer matrix contains zeros. In this case, the initial values at 0^- and 0^+ are interdependent. Hence, the transients are more sophisticated. In order to make the transients easier to overlook, a list of relations can be taken into consideration. Then the results are really simplified.

2 Sensitivity of the Condition Transfer Matrix

The sensitivity of \mathbf{A}_D^{-1} is considered, first. First, we focus our interest on $\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial a_i}$, using the relation

$$\frac{\partial \mathbf{A}^{-1}}{\partial p} = -\mathbf{A}^{-1} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial p} \mathbf{A}^{-1} . \quad (9)$$

For $p = a_i$ we have to follow the rules of Eq.(55) for interdependent matrix elements

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D}{\partial a_i} = \sum_k \frac{\partial \mathbf{A}_D|_{p_k:=\alpha_i \text{ at any separate position}}}{\partial p_k} \Big|_{\alpha_j=\text{constant } \forall j \neq k} . \quad (10)$$

For the triangle matrix \mathbf{A}_D and $i = 3$, we find the reflection matrix $\mathbf{I}_{3,3}^\leftarrow$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D}{\partial a_3} \stackrel{(10)}{=} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \triangleq \mathbf{I}_{3,3}^\leftarrow . \quad (11)$$

The matrix $\mathbf{I}_{3,3}^\leftarrow$ is a special case of the permutation matrix, the rotation or reflection matrix; defined as the unity matrix with unity entries in the secondary diagonal, only.

We also need reducing reflection matrices with reducing operation for the remaining derivatives

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_2} = \mathbf{I}_{3,2}^{\swarrow} \triangleq \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \frac{\partial \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_1} = \mathbf{I}_{3,1}^{\swarrow} \triangleq \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

The results $\partial \alpha_2$ and $\partial \alpha_1$ can also be obtained from $\partial \alpha_3$ by using a reduced southeast arrow matrix

$$\mathbf{I}_{3,3}^{\searrow} \triangleq \mathbf{I}_3 (\text{identity matrix}), \quad \mathbf{I}_{3,2}^{\searrow} \triangleq \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{I}_{3,1}^{\searrow} \triangleq \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Using Eq.(21)

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_3} = -\mathbf{A}_D^{-1} \frac{\partial \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_3} \mathbf{A}_D^{-1} = -\mathbf{adj} \mathbf{A}_D \frac{\partial \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_3} \mathbf{adj} \mathbf{A}_D / (\det \mathbf{A}_D)^2 = -\mathbf{adj} \mathbf{A}_D \mathbf{I}_{3,3}^{\swarrow} \mathbf{adj} \mathbf{A}_D / \alpha_3^6 \quad (14)$$

and for the example $n = 3$

$$\mathbf{A}_D = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \alpha_2 & \alpha_3 & 0 \\ \alpha_3 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{adj} \mathbf{A}_D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\alpha_3^2 \\ 0 & -\alpha_3^2 & \alpha_2 \alpha_3 \\ -\alpha_3^2 & \alpha_2 \alpha_3 & \alpha_1 \alpha_3 - \alpha_2^2 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_3} \stackrel{(14)}{=} -\frac{1}{\alpha_3^4} \begin{pmatrix} 0 & 0 & \alpha_3^2 \\ 0 & \alpha_3^2 & -2\alpha_2 \alpha_3 \\ \alpha_3^2 & -2\alpha_2 \alpha_3 & -2\alpha_1 \alpha_3 + 3\alpha_2^2 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Similarly,

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_2} = -\mathbf{adj} \mathbf{A}_D \cdot \mathbf{I}_{3,2}^{\swarrow} \cdot \mathbf{adj} \mathbf{A}_D / \alpha_3^6 = -\frac{1}{\alpha_3^4} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3^2 \\ 0 & \alpha_3^2 & -2\alpha_2 \alpha_3^2 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_1} = -\frac{1}{\alpha_3^4} \mathbf{adj} \mathbf{A}_D \cdot \mathbf{I}_{3,1}^{\swarrow} \cdot \mathbf{adj} \mathbf{A}_D / \alpha_3^6 = -\frac{1}{\alpha_3^4} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3^2 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Southwestarrow matrix $\mathbf{I}_{n,n}^{\swarrow}$ is used for creating the mirror image of a matrix. Post-multiplication $\mathbf{M} \cdot \mathbf{I}_{n,n}^{\swarrow}$ presents a mirror image of the matrix \mathbf{M} with respect to a vertical axis. Premultiplication $\mathbf{I}_{n,n}^{\swarrow} \cdot \mathbf{M}$ entails a mirror image with respect to a horizontal axis.

The reduced southeast matrix $\mathbf{I}_{n,p}^{\searrow}$ can easily be obtained in a direct procedure starting with $\mathbf{I}_{n,n}^{\swarrow}$ by

$$\mathbf{I}_{n,p}^{\searrow} = \mathbf{I}_{n,p}^{\swarrow} \cdot \mathbf{I}_{n,n}^{\swarrow} \quad (19)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Studying the derivatives versus all the α_i as a whole, we use the derivative of the inverse matrix (*Vetter, W.J., 1970; 1973*)

$$\frac{\partial \mathbf{A}^{-1}}{\partial \mathbf{M}} = -(\mathbf{I}_r \otimes \mathbf{A}^{-1}) \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial \mathbf{M}} (\mathbf{I}_s \otimes \mathbf{A}^{-1}) \quad \mathbf{A} \in \mathcal{R}^{n \times n} \quad (21)$$

by specializing $\mathbf{M} = \mathbf{A}_D$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \mathbf{A}_D} \stackrel{(43)}{=} -(\mathbf{I}_n \otimes \mathbf{A}_D^{-1}) \bar{\mathbf{U}}_{n,n} (\mathbf{I}_n \otimes \mathbf{A}_D^{-1}) \triangleq \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_{11} & \mathbf{Q}_{12} & \dots \\ \mathbf{Q}_{21} & \mathbf{Q}_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \triangleq \mathbf{H}. \quad (22)$$

Then,

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_3} = \sum \mathbf{Q}_{13} + \mathbf{Q}_{22} + \mathbf{Q}_{31}, \quad \frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_2} = \sum \mathbf{Q}_{12} + \mathbf{Q}_{21}, \quad \frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_1} = \mathbf{Q}_{11} \quad (23)$$

For numerical data $\alpha_1 = 11/6; \alpha_2 = 1; \alpha_3 = 1/6$; and MATLAB operators $\text{sys1} = \text{zpk}([], [-1 - 2 - 3], 8); \text{sys2} = \text{tf}(\text{sys1})$

$$\mathbf{H} = 10^4 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0000 & 0 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \\ 0 & 0 & -0.0036 & 0 & -0.0036 & 0.0216 & -0.0036 & 0.0216 & -0.0898 \\ 0 & 0 & 0.0000 & 0 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \\ 0 & 0 & -0.0036 & 0 & -0.0036 & 0.0216 & -0.0036 & 0.0216 & -0.0898 \\ 0 & 0 & 0.0216 & 0 & 0.0216 & -0.1293 & 0.0216 & -0.1293 & 0.5382 \\ 0 & 0 & -0.0036 & 0 & -0.0036 & 0.0216 & -0.0036 & 0.0216 & -0.0898 \\ 0 & 0 & 0.0216 & 0 & 0.0216 & -0.1293 & 0.0216 & -0.1293 & 0.5382 \\ 0 & 0 & -0.0898 & 0 & -0.0898 & 0.5382 & -0.0898 & 0.5382 & -2.2407 \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -36 \end{pmatrix}, \quad \frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -36 \\ 0 & -36 & 431.2 \end{pmatrix}, \quad \frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_3} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -36 \\ 0 & -36 & 431.2 \\ -36 & 431.2 & -3088 \end{pmatrix} \quad (25)$$

3 Decoupling and Desensitizing the Initial-Value Transfer

3.1 Third-order System ($n = 3$)

Find the zeros b_i of $G(s)$ such that the initial values $\mathbf{x}_a(0^+)$ and $\mathbf{x}_e(0^+)$ are decoupled and thus desensitized. Then, x_{e1} only influences x_{a1} , x_{e2} only x_{a2} etc. In other words, find relations such that the matrix \mathbf{L}_{ae} becomes a diagonal matrix; and $\frac{\partial \mathbf{L}_{ae}}{\partial a_i}$ as well. Appropriate placement of the zeros (or b_i) yields such a diagonalization. We assume that there is the opportunity of selecting or changing the zeros of $G(s)$ by implementing differential elements.

We now consider $\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_3} \mathbf{B}_D$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_3} \mathbf{B}_D = \begin{pmatrix} -\frac{\beta_3}{\alpha_3^2} & 0 & 0 \\ \frac{2\alpha_2\beta_3}{\alpha_3^3} - \frac{\beta_2}{\alpha_3^2} & -\frac{\beta_3}{\alpha_3^2} & 0 \\ \frac{2\alpha_2\beta_2}{\alpha_3^3} - \frac{\beta_1}{\alpha_3^2} - \beta_3 \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_3^3} - \frac{3(\alpha_1\alpha_3 - \alpha_2^2)}{\alpha_3^4} \right) & \frac{2\alpha_2\beta_3}{\alpha_3^3} - \frac{\beta_2}{\alpha_3^2} & -\frac{\beta_3}{\alpha_3^2} \end{pmatrix}. \quad (26)$$

Note the structure of partly shifting in the direction of the main diagonal, i.e., the matrix elements $(1, 1) \equiv (2, 2) \equiv (3, 3)$ and $(2, 1) \equiv (3, 2)$.

Considering $\mathbf{x}_a(0^+)$ (with the special case $\mathbf{x}_a(0^-) = \mathbf{0}$),

$$\mathbf{x}_a(0^+) = \mathbf{L}_{ae} \mathbf{x}_e(0^+) = \begin{pmatrix} x_{e0} \frac{\beta_3}{\alpha_3} \\ x_{e0} \left(\frac{\beta_2}{\alpha_3} - \frac{\alpha_2\beta_3}{\alpha_3^2} \right) + x_{e1} \frac{\beta_3}{\alpha_3} \\ x_{e1} \left(\frac{\beta_2}{\alpha_3} - \frac{\alpha_2\beta_3}{\alpha_3^2} \right) - x_{e0} \left(\frac{\beta_3(\alpha_1\alpha_3 - \alpha_2^2)}{\alpha_3^3} - \frac{\beta_1}{\alpha_3} + \frac{\alpha_2\beta_2}{\alpha_3^2} \right) + x_{e2} \frac{\beta_3}{\alpha_3} \end{pmatrix}. \quad (27)$$

From the second row in Eq.(27), we get in case of decoupling $\beta_2 = [\alpha_2/\alpha_3] \beta_3$. Based on this and if both cases of decoupling are desired, from the third row of Eq.(27) we find $\beta_1 = [\alpha_1/\alpha_3]\beta_3$. In general, if entire decoupling is desired

$$b_i = [a_i/a_n] b_n \quad \forall i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (28)$$

Desensitization means that the partial derivatives with respect to the main parameters a_i are decoupled. The equations for decoupling and desensitization look very similar.

Studying the differential dependence on the denominator coefficients a_i we get the following interrelations

$$\frac{\partial \mathbf{x}_a(0^+)}{\partial \alpha_3} = \begin{pmatrix} -x_{e0} \frac{\beta_3}{\alpha_3^2} \\ -x_{e0} \left(\frac{\beta_2}{\alpha_3^2} - \frac{2\alpha_2\beta_3}{\alpha_3^3} \right) - x_{e1} \frac{\beta_3}{\alpha_3^2} \\ -x_{e0} \left(\beta_3 \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_3^3} - \frac{3(\alpha_1\alpha_3-\alpha_2^2)}{\alpha_3^4} \right) + \frac{\beta_1}{\alpha_3^2} - \frac{2\alpha_2\beta_2}{\alpha_3^3} \right) - x_{e1} \left(\frac{\beta_2}{\alpha_3^2} - \frac{2\alpha_2\beta_3}{\alpha_3^3} \right) - x_{e2} \frac{\beta_3}{\alpha_3^2} \end{pmatrix}. \quad (29)$$

The coefficients in what follows yield a decoupling of the initial conditions

$$\beta_2 = \frac{2\alpha_2\beta_3}{\alpha_3}, \quad \beta_1 = \frac{\alpha_3^2\beta_3}{\alpha_2^2 + 2\alpha_1\alpha_3} \quad (30)$$

The coefficients of Eq.(30) also play an important role in the differential sensitivity with respect to α_2, α_1 .

$$\frac{\partial \mathbf{x}_a(0^+)}{\partial \alpha_2} = \begin{pmatrix} 0 \\ -x_{e0} \frac{\beta_3}{\alpha_3^2} \\ -x_{e0} \left(\frac{\beta_2}{\alpha_3^2} - \frac{2\alpha_2\beta_3}{\alpha_3^3} \right) - x_{e1} \frac{\beta_3}{\alpha_3^2} \end{pmatrix}, \quad \frac{\partial \mathbf{x}_a(0^+)}{\partial \alpha_1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -x_{e0} \frac{\beta_3}{\alpha_3^2} \end{pmatrix}. \quad (31)$$

Table 1: Which line of $\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_i}$ yields which results b_i for sensitivity decoupling, $n = 3$

Line	$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_3}$	$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_2}$
2.	$\beta_2 = [2\alpha_1/\alpha_3]\beta_3$	
3.	$\beta_1 = [\alpha_2^2 + 2\alpha_1\alpha_3]/\alpha_3^2\beta_3$	$\beta_2 = [2\alpha_2/\alpha_3]\beta_3$

3.2 Fourth-Order System ($n = 4$)

Table 2: Which line of $\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_i}$ yields which results b_i for sensitivity decoupling, $n = 4$

Line	$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_4}$	$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_3}$	$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_2}$
2.	$\beta_3 = [2\alpha_3/\alpha_4]\beta_4$		
3.	$\beta_2 = [\alpha_3^2 + 2\alpha_2\alpha_4]/\alpha_4^2\beta_4$	$\beta_3 = [2\alpha_3/\alpha_4]\beta_4$	
4.	$\beta_1 = [2(\alpha_1\alpha_4 + \alpha_2\alpha_3)/\alpha_4^2]\beta_4$	$\beta_2 = [\alpha_3^2 + 2\alpha_2\alpha_4]/\alpha_4^2\beta_4$	$\beta_3 = [2\alpha_3/\alpha_4]\beta_4$

3.3 General Relations

Referring to Eq.(14) and generalizing with respect to a_i ,

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \alpha_i} \stackrel{(14)}{=} -\mathbf{A}_D^{-1} \frac{\partial \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_i} \mathbf{A}_D^{-1} = -\mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{I}_{n,i}^{\swarrow} \mathbf{A}_D^{-1} \mid \cdot \mathbf{B}_D \quad (32)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D}{\partial \alpha_i} = -\mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{I}_{n,i}^{\swarrow} \mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{B}_D \mid \cdot \mathbf{x}_e(0^+) \quad (33)$$

$$\frac{\partial \mathbf{x}_a(0^+)}{\partial \alpha_i} = -\mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{I}_{n,i}^{\swarrow} \mathbf{L}_{ae} \mathbf{x}_e(0^+) \quad (34)$$

$$\boxed{\frac{\partial \mathbf{x}_a(0^+)}{\partial \alpha_i} = \{-\mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{I}_{n,i}^{\swarrow}\} \mathbf{x}_a(0^+)}, \quad (35)$$

or

$$\boxed{\frac{\partial \mathbf{L}_{ae}}{\partial \alpha_i} = \{-\mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{I}_{n,i}^{\swarrow}\} \mathbf{L}_{ae}}, \quad (36)$$

where

$$\mathbf{I}_{n,i}^{\swarrow} \stackrel{(39)}{=} \sum_{k=1}^{k=i} \mathbf{E}_{n,k}^{(n \times n)}. \quad (37)$$

Hence, $\{-\mathbf{A}_D^{-1} \mathbf{I}_{n,i}^{\swarrow}\}$ can be considered as a matrix-valued premultiplication operator transferring the output initial conditions to their derivatives with respect to the denominator parameter α_i .

4 Conclusion

The well-known relations of initial-conditions tranfer in case of transfer matrix zeros were augmented by relations to obtain vanishing transfer results. Mainly, the sensitivity of the transfer results with respect to numerator and denominator coefficiens were taken into consideration. A resulting sensitivity operator to be applied to the output initial conditions was carried out. Several examples were outlined for the sake of illustration.

References

- Föllinger, O., 1961, Über die Anfangsbedingungen bei linearen Übertragungsgliedern, *Regelungstechnik* **9**, S. 149-153
- Vetter, W.J., 1970, Derivative operations on matrices, *IEEE-Trans. AC-15*, pp.241-244 and **AC-16**, p. 113

Vetter, W.J., 1973, Matrix calculus operations and Taylor expansions, *SIAM Review* **15**, pp. 352-369

Weinmann, A., 1988, Die Anfangswertübergabe in der Matrizendarstellung, *e & i, Elektrotechnik und Informationstechnik* **105**, S. 313-314

Wunsch, G., 1971, Systemtheorie der Informationstechnik (Geest und Portig, Leipzig)

Appendix

A Basic Relations

General definition

$$\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{M}} \triangleq \sum_{ij} \mathbf{E}_{ij}^{(r \times s)} \otimes \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{ij}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{11}} & \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{12}} & \cdots & \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{1s}} \\ \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{21}} & \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{22}} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{r1}} & \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{r2}} & \cdots & \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial M_{rs}} \end{pmatrix}, \quad \begin{aligned} \mathbf{G} &\in \mathcal{R}^{n \times m}, \quad \mathbf{M} \in \mathcal{R}^{r \times s}, \\ \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{M}} &\in \mathcal{R}^{nr \times ms} \end{aligned} \quad (38)$$

where the Kronecker matrix is $\mathbf{E}_{ik}^{(n \times m)} = \mathbf{e}_i \mathbf{e}_k^T \in \mathcal{R}^{n \times m}$ (1 at position (i, k) only). (39)

$$(\mathbf{A}_D + \Delta \mathbf{A}_D)^{-1} = \mathbf{A}_D^{-1} - \mathbf{A}_D^{-1} (\Delta \mathbf{A}_D) \mathbf{A}_D^{-1}. \quad (40)$$

Derivative of the inverse matrix (*Vetter, W.J., 1973*)

$$\frac{\partial \mathbf{A}^{-1}}{\partial \mathbf{M}} = -(\mathbf{I}_r \otimes \mathbf{A}^{-1}) \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial \mathbf{M}} (\mathbf{I}_s \otimes \mathbf{A}^{-1}), \quad \frac{\partial \mathbf{A}^{-1}}{\partial m} = -\mathbf{A}^{-1} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial m} \mathbf{A}^{-1}, \quad \mathbf{A} \in \mathcal{R}^{n \times n}. \quad (41)$$

The matrix product rule with $\mathbf{A} \in \mathcal{R}^{n \times m}, \mathbf{B} \in \mathcal{R}^{m \times q}, \mathbf{M} \in \mathcal{R}^{r \times s}$, is

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{M}} \mathbf{A}(\mathbf{M}) \mathbf{B}(\mathbf{M}) = \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial \mathbf{M}} (\mathbf{I}_s \otimes \mathbf{B}) + (\mathbf{I}_r \otimes \mathbf{A}) \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial \mathbf{M}} \quad \frac{\partial (\mathbf{A}\mathbf{B})}{\partial \mathbf{M}} \in \mathcal{R}^{nr \times qs}. \quad (42)$$

The self-derivative matrix (rectangular matrix $\partial \mathbf{M}/\partial \mathbf{M}$, only square if $k = l$,) is given by

$$\frac{\partial \mathbf{X}^{(k \times l)}}{\partial \mathbf{X}} = \bar{\mathbf{U}}_{k,l} = \bar{\mathbf{U}}_{k,l}^{(k^2 \times l^2)} \triangleq \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \mathbf{E}_{ij}^{(k \times l)} \otimes \mathbf{E}_{ij}^{(k \times l)}, \quad (43)$$

$$\frac{\partial \mathbf{X}^{-1}}{\partial \mathbf{X}} \stackrel{(43)}{=} -(\mathbf{I}_n \otimes \mathbf{X}^{-1}) \bar{\mathbf{U}}_{n,n} (\mathbf{I}_n \otimes \mathbf{X}^{-1}). \quad (44)$$

Under the condition that no matrix interdependencies exist

$$\frac{\partial \det \mathbf{A}}{\partial \mathbf{A}} = \mathbf{adj}^T \mathbf{A}, \quad \frac{\partial \det \mathbf{A}}{\partial A_{21}} = (\mathbf{adj}^T \mathbf{A})|_{21}, \quad (45)$$

detecting the elements where a_m is involved leads to

$$\frac{\partial \det \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_m} \stackrel{(4)}{=} \sum_{k=1}^m \mathbf{e}_{m+1-k}^T (\mathbf{adj} \mathbf{A}_D^T) \mathbf{e}_k \quad \forall 1 \leq m \leq n . \quad (46)$$

Applying Eq.(46) on $\det \mathbf{A}_D$ for α_3

$$\frac{\partial \det \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_3} = (\mathbf{adj} \mathbf{A}_D^T)_{31} + (\mathbf{adj} \mathbf{A}_D^T)_{22} + (\mathbf{adj} \mathbf{A}_D^T)_{13} = -3\alpha_3^2 , \quad (47)$$

$$\frac{\partial \det \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_2} = 0 , \quad \frac{\partial \det \mathbf{A}_D}{\partial \alpha_1} = 0 . \quad (48)$$

B Matrix Interdependencies

B.1 Demonstating the Differences. Second-Order System

In an example we get, after having finished the calculations, and if we replaced c by b , finally not initially,

$$\mathbf{A}_1 = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} , \quad \mathbf{adj} \mathbf{A}_1 = \begin{pmatrix} d & -b \\ -c & a \end{pmatrix} , \quad \frac{\partial \det \mathbf{A}_1}{\partial A_{12}} = (\mathbf{adj}^T \mathbf{A}_1)|_{12} = -c|_{c:=b} = -b . \quad (49)$$

For the matrix \mathbf{A} with interdependencies direct calculation yields

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & b \\ b & d \end{pmatrix} \quad \frac{\partial \det \mathbf{A}}{\partial b} = \frac{\partial(ad - b^2)}{\partial b} = -2b . \quad (50)$$

B.2 Operation Rule 1

Hence, in general, for a matrix with interdependencies we have to start by executing replacements of all the manifold parameters

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & b \\ b & d \end{pmatrix} \hookrightarrow \mathbf{A}_1 = \begin{pmatrix} a & b_1 \\ b_2 & d \end{pmatrix} , \quad \mathbf{adj} \mathbf{A}_1 = \begin{pmatrix} d & -b_1 \\ -b_2 & a \end{pmatrix} . \quad (51)$$

Then, we utilize the matrix rules for independent matrix elements, and the rules of total differential,

$$\frac{\partial \det \mathbf{A}}{\partial b} = \frac{\partial \det \mathbf{A}_1}{\partial b_1} + \frac{\partial \det \mathbf{A}_1}{\partial b_2} = (\mathbf{adj} \mathbf{A}_1^T)|_{12} + (\mathbf{adj} \mathbf{A}_1^T)|_{21} \quad (52)$$

$$= (-b_2)|_{b_1=b_2=b} + (-b_1)|_{b_1=b_2=b} = -b - b = -2b . \quad (53)$$

If a matrix \mathbf{A} contains some data, e.g., b in two matrix elements, then rename b by b_1 , b_2 and calculate

$$\frac{\partial f(\mathbf{A})}{\partial b_1}|_{b_2=constant} + \frac{\partial f(\mathbf{A})}{\partial b_2}|_{b_2=constant} \quad (54)$$

$$\frac{\partial f(\mathbf{A})}{\partial b} = \left[\frac{\partial f(\mathbf{A})}{\partial b_1} \Big|_{b_2=constant} + \frac{\partial f(\mathbf{A})}{\partial b_2} \Big|_{b_2=constant} \right]_{b_1=b, b_2=b} . \quad (55)$$

The procedure operates for an arbitrary number of b_i .

C Operation Rule 2

One has to distinguish between differentiation in general with respect to a matrix element, or with respect to that parameter which establishes the interdependence between the matrix elements. The latter has to be authorized with higher priority. If g is an element M_{ij} then $\frac{\partial}{\partial M_{ij}}$ equals $\frac{\partial}{\partial g}$. When differentiating with respect to another element where the entry is $h(g)$ then the internal derivative $\partial h(g)/\partial g$ is needed. The sum of all the elements has to be included when differentiation is carried out since all the other elements are included by the matrix operation. All the elements i_g, j_g have the same value

$$f(\mathbf{M}) = f(\mathbf{M})|_{i \neq i_g, j \neq j_g} + f(\mathbf{M})|_{i=i_g, j=j_g} \quad (56)$$

$$= f(\mathbf{M})|_{i \neq i_g, j \neq j_g} + f(h_{ij}(g) M_{ij}) \mathbf{E}_{ij} \quad (57)$$

$$\frac{\partial f(\mathbf{M})}{\partial \mathbf{M}} = \begin{cases} \frac{\partial f(\mathbf{M})}{\partial \mathbf{M}} & \text{if } i \neq i_g, j \neq j_g \\ \sum_{i_g, j_g} \frac{\partial h_{ij}}{\partial g} \frac{\partial f}{\partial \mathbf{M}}|_{i_g, j_g} & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (58)$$

C.1 Trace of a Matrix Product

Using the method of splitting, for all positions i, j not identical to i_g, j_g

$$\frac{\partial \text{tr}[\mathbf{AM}]}{\partial \mathbf{M}} = \mathbf{A}^T; \quad (59)$$

at all the positions i_g, j_g we use separate calculation

$$\frac{\partial \text{tr}[\mathbf{AM}]}{\partial g} = \frac{\partial}{\partial g} \sum_{i_g, j_g} \text{tr}[\mathbf{A}g \mathbf{E}_{ij}] = \sum_{i_g, j_g} \text{tr}[\mathbf{A}_{ji}] . \quad (60)$$

In detail,

$$\frac{\partial \text{tr}[\mathbf{AM}]}{\partial \mathbf{M}} = \mathbf{matrix}_{ij} \left\{ \frac{\partial \text{tr}[\mathbf{AM}]}{\partial M_{ij}} \right\} = |_{int.dep.} \frac{\partial}{\partial \mathbf{M}} \text{tr}[\mathbf{A}(\mathbf{M}|_{0 \forall i_g, j_g} + g \sum_{i_g, j_g} \mathbf{E}_{ij})] \quad (61)$$

$$= \mathbf{A}^T|_{0 \forall i_g, j_g} + \frac{\partial}{\partial g} g \left\{ \text{tr}[\mathbf{A} \sum_{i_g, j_g} \mathbf{E}_{ij}] \right\} \mathbf{E}_{i_g, j_g} \quad (62)$$

$$= \mathbf{A}^T|_{0 \forall i_g, j_g} + \left(\sum_{i_g, j_g} A_{j,i} \right) \mathbf{E}_{i_g, j_g} \quad \text{for } \mathbf{A}_o \text{ of Eq.(65)} \quad i_g, j_g = 1, 2; 2, 3; 3, 2$$

$$= \mathbf{A}^T|_{0 \forall i_g, j_g} + (12 + 2 + 3) \cdot \sum_{\forall i_g, j_g} \mathbf{E}_{i,j} \quad (63)$$

$$\text{where } \mathbf{A}_o = \begin{pmatrix} 1 & 12 & 3 \\ 4 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}, \quad (64)$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 3 & & \\ 3 & 4 & \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 17 & & \\ & 17 & \\ & 17 & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 17 & 3 & 17 \\ 3 & 17 & 4 \end{pmatrix} \quad (65)$$

The overall result is

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 12 & 3 \\ 4 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{M}_o = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ g & 2 & g \\ 2 & g & 3 \end{pmatrix}|_{g=12}, \quad \frac{\partial \text{tr}[\mathbf{AM}]}{\partial \mathbf{M}}|_{\mathbf{A}_o, \mathbf{M}_o} = \begin{pmatrix} 1.0 & 4.0 & 2.0 \\ 17.0 & 3.0 & 17.0 \\ 3.0 & 17.0 & 4.0 \end{pmatrix} \quad (66)$$

The elements of \mathbf{M} (except the positions i_g, j_g with g) could have been replaced by arbitrary data, of course.

With numerical difference computation, $\{\text{tr}[\mathbf{A}(\mathbf{M} + \Delta M_{ij}\mathbf{E}_{ij}] - \text{tr}[\mathbf{AM}]\}/\Delta M_{ij}$ the result can be checked easily.

C.2 Trace of Matrix Exponential

For matrix elements $i, j \neq i_g, j_g$

$$\frac{\partial \text{tr}[e^{\mathbf{M}}]}{\partial \mathbf{M}} = e^{\mathbf{M}^T}. \quad (67)$$

For the coupled elements of \mathbf{M} , a separate procedure is required

$$\mathbf{M}_o = \begin{pmatrix} 1 & 12 & 3 \\ g & 2 & g \\ 2 & g & 3 \end{pmatrix}|_{g=0} = \begin{pmatrix} 1 & 12 & 3 \\ & 2 & \\ & & 3 \end{pmatrix} + g \underbrace{\sum_{i_g, j_g} \mathbf{E}_{ij}}_{\Delta \mathbf{M}} \quad (68)$$

$$e^{\Delta \mathbf{M}} \doteq \mathbf{I}_3 + g \sum_{i_g, j_g} \mathbf{E}_{ij} \quad (\text{for } \Delta \mathbf{M} \text{ small in norm}) \quad (69)$$

$$e^{\mathbf{M} + \Delta \mathbf{M}} \doteq e^{\mathbf{M}} [\mathbf{I}_3 + g \sum_{i_g, j_g} \mathbf{E}_{ij}] \quad (70)$$

$$\Delta \text{tr}[e^{\mathbf{M}}] = \text{tr}[e^{\mathbf{M}} g \sum_{i_g, j_g} \mathbf{E}_{ij}] \rightsquigarrow \frac{\partial \text{tr}[e^{\mathbf{M}}]}{\partial g} = \text{tr}[e^{\mathbf{M}} \sum_{i_g, j_g} \mathbf{E}_{i,j}] = \sum_{i_g, j_g} e^{\mathbf{M}^T}|_{i,j}. \quad (71)$$

(Although $e^{\mathbf{A}} e^{\mathbf{B}} \neq e^{\mathbf{B}} e^{\mathbf{A}}$, the operation in Eq.(70) is correct because the trace is used afterwards and hence the order is arbitrary.) All the positions i_g, j_g have the same argument. For the numerical data of Eq.(68)

$$\frac{\partial \text{tr}[e^{\mathbf{M}}]}{\partial \mathbf{M}} = e^{\mathbf{M}^T}|_{\mathbf{M}_o} = \begin{pmatrix} 9484612.6 & 21005037.0 & 18254615.0 \\ \mathbf{11453494.0} & 25365409.0 & \mathbf{22044035.0} \\ 11173549.0 & \mathbf{24745431.0} & 21505238.0 \end{pmatrix} \forall i, j \neq i_g, j_g, \quad (72)$$

including the result with splitting one has

$$\frac{\partial \text{tr}[e^{\mathbf{M}}]}{\partial \mathbf{M}}|_{\mathbf{M}_o} \stackrel{(68)}{=} \begin{pmatrix} 9484612.6 & 21005037.0 & 18254615.0 \\ \mathbf{58242960.0} & 25365409.0 & \mathbf{58242960.0} \\ 11173549.0 & \mathbf{58242960.0} & 21505238.0 \end{pmatrix} \quad (73)$$

The sum of the elements 2,1; 2,3 and 3,2 of the upper matrix (Eq.(72)) corresponds to each element 2,1; 2,3 and 3,2 of the lower matrix (Eq.(73)).

C.3 Inverse Matrix with Interdependencies and its Derivative

Consider

$$\mathbf{A}_D = \begin{pmatrix} a+1 & 12a \\ 5 & b \end{pmatrix} \quad \text{for } a=1, b=9 \quad (74)$$

Then,

$$\mathbf{R} \triangleq -\mathbf{A}_D^{-1}[1 \cdot \mathbf{E}_{11} + 12 \cdot \mathbf{E}_{12}]\mathbf{A}_D^{-1} = \begin{pmatrix} 0.2602 & -0.06122 \\ -0.1446 & 0.03401 \end{pmatrix} \quad (75)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \mathbf{A}_D}|_{\mathbf{A}_D, \text{int.dep.neglected}} \stackrel{(44)}{=} \begin{pmatrix} -0.04592 & 0.06122 & 0.02551 & -0.0102 \\ 0.02551 & -0.03401 & -0.01417 & 0.005669 \\ 0.06122 & -0.08163 & -0.03401 & 0.01361 \\ -0.0102 & 0.01361 & 0.005669 & -0.002268 \end{pmatrix} \quad (76)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_D^{-1}}{\partial \mathbf{A}_D}|_{\mathbf{A}_D, \text{with int.dep.}} = \begin{pmatrix} 0.2602 & -0.06122 & 0.2602 & -0.06122 \\ -0.1446 & 0.03401 & -0.1446 & 0.03401 \\ 0.06122 & -0.08163 & -0.03401 & 0.01361 \\ -0.0102 & 0.01361 & 0.005669 & -0.002268 \end{pmatrix} \quad (77)$$

C.4 Nonlinear Interdependencies

Internal derivatives have to be included for nonlinear interdependencies. Consider

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 12 & 3 \\ g^2 & 2 & g \\ 2 & \sqrt{g} & 3 \end{pmatrix} \quad (78)$$

$$\frac{\partial \text{tr}[e^{\mathbf{M}}]}{\partial g} \stackrel{(71)}{=} \text{tr}[e^{\mathbf{M}} \sum_{i_g, j_g} (\text{Int.deriv.}) \cdot \mathbf{E}_{i,j}] = 2ge^{\mathbf{M}^T}|_{21} + e^{\mathbf{M}^T}|_{23} - (0.5/\sqrt{g}) e^{\mathbf{M}^T}|_{32}. \quad (79)$$

See $\text{tr}[e^{\mathbf{M}}]$ in what follows, without interdependencies first; and with interdependencies, second, where the internal derivatives are included, both results multiplied with 10^{-6}

$$\frac{\partial \text{tr}[e^{\mathbf{M}}]}{\partial \mathbf{M}} = e^{\mathbf{M}^T} \Big|_{\text{no int. dep., } g=12} = \begin{pmatrix} 6543510.4 & 35383710.0 & 4966621.7 \\ 1314072.3 & 7105781.4 & 997400.43 \\ 1296002.5 & 7008069.6 & 983685.16 \end{pmatrix} \quad (80)$$

$$\frac{\partial \text{tr}[e^{\mathbf{M}}]}{\partial \mathbf{M}} \Big|_{\text{int. dep., } g=12} = \begin{pmatrix} 6543510.4 & 35383710.0 & 4966621.7 \\ \mathbf{33546664.0} & 7105781.4 & \mathbf{33546664.0} \\ 1296002.5 & \mathbf{33546664.0} & 983685.16 \end{pmatrix}. \quad (81)$$

D Fourth-Order Numerical Example with Zero History

Consider the case $\mathbf{x}_a(0^+) = \mathbf{0}$. We use an input signal $x_e(t)$ with given data $\mathbf{x}_e(0^+)$, that is, $x_e(t) = x_e(0) + x_e(1)*t + x_e(2)*t^2 + x_e(3)*t^3$ to excite the system G . Using MATLAB: `lsim(sysG,u,t)`. In addition, we construct a hypothetic signal using the output results of the initial condition transient matrix and extrapolation following the line element

$$r(t) = x_a(1) + x_a(2)*t + 0.5*x_a(3)*t^2 + 0.166*x_a(4)*t^3. \quad (82)$$

See Fig. 1.

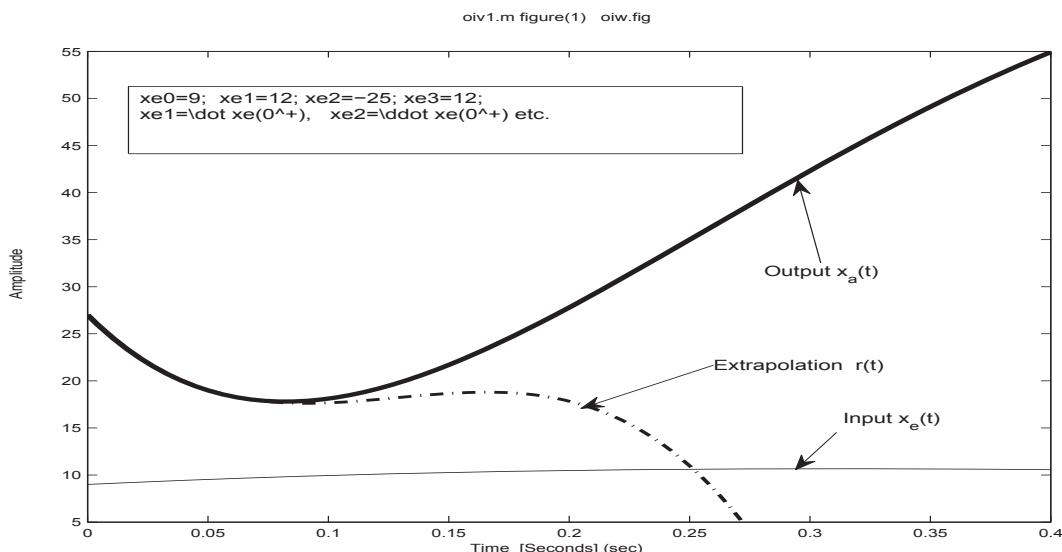


Figure 1: Plot for numerical check of the results in the fourth-order example

E Third-Order Example with Non-zero History

$$\text{Using state-space, } \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{b}u(t) \quad u(t) = x_e(t) \quad (83)$$

$$y(t) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}(t) + d \times u(t) \quad y(t) = x_a(t) \quad (84)$$

$$\text{one finds (Weinmann, A., 1988)} \quad \mathbf{L}_{ae} = \begin{pmatrix} d & 0 & 0 \\ \mathbf{c}^T \mathbf{b} & d & 0 \\ \mathbf{c}^T \mathbf{Ab} & \mathbf{c}^T \mathbf{b} & d \end{pmatrix}. \quad (85)$$

$$G(s) = \frac{s^2 + 50s + 2}{s^3 + 80s^2 + 1.8s + 0.1} \quad (86)$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{10} & -\frac{9}{5} & -80 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{pmatrix} 2 \\ 50 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (87)$$

$$\mathbf{L}_{ae} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1.0 & 0 & 0 \\ -30.0 & 1.0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x}_e(0^+) = \begin{pmatrix} 10 \\ 2 \\ -30 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x}_a(0^-) = \begin{pmatrix} 1 \\ -4 \\ 300 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x}_a(0^+) = \begin{pmatrix} 1.0 \\ 6.0 \\ 2.0 \end{pmatrix} \quad (88)$$

In Fig. 2 the time scale is elongated for the sake of illustration of the derivatives with respect to time.

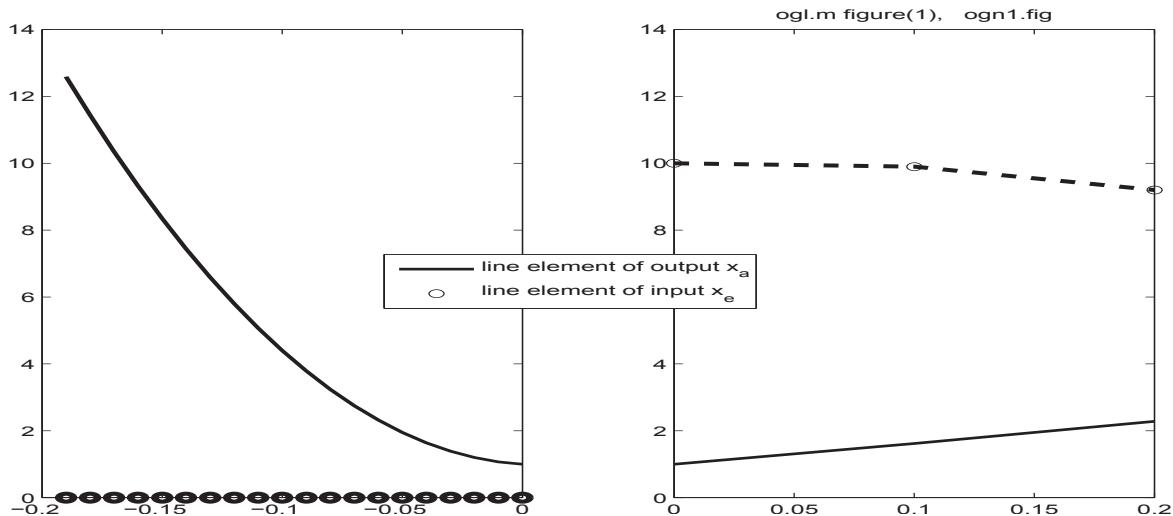


Figure 2: Transition of the natural initial conditions in the third-order example

F Electrical Example 1

Consider the very simple example of a resistor capacitor circuit, for the sake of illustration only. The input impedance is r_1 in parallel with c_1 , switched in series to r_2 in parallel with c_2 . The output is the voltage at r_2 in parallel with c_2 . Then, the output input voltage ratio is

$$\frac{X_a(s)}{X_e(s)} = \frac{\frac{1}{r_2 \frac{sc_2}{1}}}{\frac{r_2 + \frac{sc_2}{1}}{\frac{1}{r_1 \frac{sc_1}{1}} + \frac{r_2 \frac{sc_2}{1}}{r_2 + \frac{1}{sc_2}}}} = \frac{r_2(1 + s r_1 c_1)}{(r_1 + r_2)(1 + s \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}(c_1 + c_2))} \rightsquigarrow \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}(c_1 + c_2) \\ \beta_1 &= r_1 c_1, \end{aligned} \quad (89)$$

Hence, the voltage ratio – which can easily checked by inspection – is

$$\frac{r_2}{r_1 + r_2} \alpha_1^{-1} \beta_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \left[\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} (c_1 + c_2) \right]^{-1} r_1 c_1 = \frac{c_1}{c_1 + c_2}. \quad (90)$$

G Electrical Example 2

Consider a second-order example with C , L , R switched in series connected to the input voltage. The output is the voltage at the series of L , R . Since $\beta \neq 1$ we use the state-space result. One has, basic calculations omitted,

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1/(LC) & -R/L \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{c} = (0 \quad R/L)^T, \quad d = 0, \quad \mathbf{L}_{ae} \stackrel{(85)}{=} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ R/L & 1 \end{pmatrix}. \quad (91)$$

The output initial velocity is simply the sum of the velocity given by the part R, L and the initial velocity of the input; both augmenting $\mathbf{x}_a(0^-)$, see Eq.(7).

H Fourth-Order System, Truncated to a Third-Order One?

Consider a fourth-order system and the appropriate \mathbf{L}_{ae} . Which details change if the system is intentionally truncated to a third-order one? Comparison is given by $\mathbf{L}_{ae}|_{([1:3],[1:3])}$ for the fourth-order system and \mathbf{L}_{ae} for the third-order one in what follows:

$$\mathbf{L}_{ae}|_{n=4,([1:3],[1:3])} = \begin{pmatrix} \alpha_4^2 \beta_4 & 0 & 0 \\ \alpha_4^2 \beta_3 - \alpha_3 \alpha_4 \beta_4 & \alpha_4^2 \beta_4 & 0 \\ \alpha_4^2 \beta_2 - b4(a2a4 - a3^2) - \alpha_3 \alpha_4 \beta_3 & \alpha_4^2 \beta_3 - \alpha_3 \alpha_4 \beta_4 & \alpha_4^2 \beta_4 \end{pmatrix} \frac{1}{\alpha_4^3} \quad (92)$$

$$\mathbf{L}_{ae}|_{n=3} = \begin{pmatrix} \alpha_3^2 \beta_3 & 0 & 0 \\ \alpha_3^2 \beta_2 - \alpha_2 \alpha_3 \beta_3 & \alpha_3^2 \beta_3 & 0 \\ \alpha_3^2 \beta_1 - \beta_3(\alpha_1 \alpha_3 - \alpha_2^2) - \alpha_2 \alpha_3 \beta_2 & \alpha_3^2 \beta_2 - \alpha_2 \alpha_3 \beta_3 & \end{pmatrix} \frac{1}{\alpha_3^3}. \quad (93)$$

There is only a simple shift in the indices. The highest coefficients always operate the initial condition transfer. That is, truncation shifts transfer operation to lower coefficients. Hence, undue truncation of the real-world system yields simulation results which are not correct.

Bericht

19. IFAC Weltkongress

24. bis 29. August, Kapstadt, Südafrika

P. Kopacek*, S.O. Lindert**, M.Schörghuber*,

*Intelligent Handling Devices and Robotics, Vienna University of Technology
Favoritenstraße 9-11, A-1040 Vienna

**Institute of Automatic Control and Control Systems Technology
Johannes Kepler University Linz
Altenberger Str. 69, 4040 Linz, Austria

Der 19. Weltkongress stand unter dem Motto „*Promoting automatic control for the benefit of humankind*“ und fand im International Convention Center in Kapstadt, Südafrika statt. Von den ungefähr 2.600 eingereichten Beiträgen wurden von den Veranstaltern 1.999 akzeptiert, was einer Rate von 76% entspricht. 1.535 Papers waren in 256 Technical Sessions, 320 Papers in 57 invited Sessions und 144 Papers in 13 interactive Sessions angeordnet. Darüberhinaus wurden 11 Plenary Lectures aus mehr als 60 eingereichten ausgewählt. Ergänzt wurde das Programm durch 2 Panel Discussions über Zusammenarbeit zwischen Akademie und Industrie sowie „Fund Raising“ für Automatisierungsprojekte. Erstmals fand auch eine Public Lecture über Quadcopters statt. Die Teilnehmeranzahl betrug ungefähr 2.100 aus 60 verschiedenen Ländern.

Das angebotene Programm reichte von klassischer Regelungstechnik über ihre Anwendungen in der Energietechnik (Schlagwort: Smart Grids), neuen Ansätzen in der Identifikation von komplexen Systemen bis hin zur Optimierung von Problem in der Lagerlogistik.

Aufgrund dieser Vielzahl von Papers können hier nur einige Spotlights wiedergegeben werden. In seiner Plenary Lecture „Bridging the Gap between Planning and Control: A Cascaded MPC Approach“ berichtete Joseph Lu von der Firma Honeywell über eine neue Regelungs- und Steuerungsstrategie, welche es erlaubt bei größeren Anlagen wie Ölraffinerien oder in der Aluminiumproduktion mehrere tausende von Messstellen und PID Regelkreisen zu planen und zu optimieren.

In einer weiteren Plenary Lecture “The Impact of Model-Based Design on Controls, Today and in the Future“ gab Jack Little von der Firma MathWorks einen Überblick über den derzeitigen Stand und zukünftige Entwicklungstendenzen des modellbasierten Entwurfs von Steuerungs- und Regelungssystemen. Derzeit ist es möglich mit Hilfe dieser Simulationswerkzeuge Entwürfe und Optimierung in fast jedem Industriezweig wie beispielsweise Luftfahrt, Automotive, Medizintechnik, Robotertechnik und Energie durchzuführen.

Bei dem Plenarvortrag "Coordinated Control of Multi-Agent Systems: Lessons from Collective Animal Behavior" gab Naomi E. Leonard interessante Einblicke in Art wie Bienenvölker

eine kollektive Entscheidung über die Wahl eines neuen Standorts für ein Nest treffen. Sie entschlüsselte und beschrieb den mathematischen Algorithmus, der eine Anregung für ein technisches System mit vielen Agenten sein könnte.

In dem Vortrag "Robot and remote-controlled machine technology for accident response and decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant" gab Hajime Asama vor allem einen Bericht aus der Praxis autonomer sowie ferngesteuerter Roboter und zeigte deren Grenzen und Unzulänglichkeiten auf.

In einem sehr interessanten Paper mit dem Titel "Cybergenetics: Feedback control of living cells at the gene level" zeigte Mustafa Khammash zunächst, wie durch Bestrahlung Zellwachstum in einem geschlossenen Regelkreis gesteuert wird. Darüber hinaus existieren auch innerhalb einer lebenden Zelle einfache geschlossene Regelkreise, die er mit seiner Gruppe gezielt einstellen kann.

Von großer steuerungstechnischer Relevanz war der Vortrag "Specification, verification and synthesis of networked control systems", in dem Richard Murray beschrieb, wie mit Hilfe von (Signal) Temporal Logic für ein autonomes Fahrzeug Verkehrsregeln spezifizieren werden können. Auf Basis dieser Spezifikation lässt sich dann in strikt systematischer Weise ein Zustandsautomat entwerfen, der auf Ebene eines Fahrzeuglenkers den Weg durch reale Verkehrssituationen plant und durchführt.

Der Vortrag von David Vos "Safety critical control systems: A manned and unmanned autonomous aircraft perspective" war vor allem ein mit Beispielen untermauertes Plädoyer gegen die derzeit in der Luftfahrt gängige Praxis, im Fall einer Ausnahmesituation den Autopiloten einfach abzuschalten und die "super human" Piloten plötzlich allein in ihrer Verantwortung zu lassen. Autopiloten sollen in Zukunft auch im Fehlerfall reagieren und die Piloten entlasten können. Das dies möglich ist, zeigte David Vos an einigen Beispielen.

Die „Roboter Sessions“ behandelten im wesentlichen Themen rund um autonome mobile Roboter. Hier beschäftigten sich viele Präsentationen mit dem Thema Hinderniserkennung und der damit verbundenen Generierung eines der Situation angepassten Ausweichmanövers. Zu diesem Thema wurden unter anderem neuartige Sensorvarianten (z.B.: der Einsatz von RFID-Codes direkt auf einem Hindernis, der Einsatz von stereoskopischen Kamerasystem und fortgeschrittener Bilderkennungssoftware) sowie fortgeschrittene Regelungsmethoden zur Hindernisvermeidung (z.B.: Modellbasierte prädiktive Ansätze) vorgestellt.

Die zahlreichen Präsentationen zum Thema autonome luftgebundene Roboter umfassten unter anderem eine neuartige Technik zur Regelung von Quadrocoptern mit Hilfe eines speziellen Kamerasystems und sogenannten Lightballs die am Quadrocopter montiert und von der Kamera zu Positionsbestimmung verwendet werden.

Weiters gab es eine sehr interessante Präsentation zur Nutzung der Luftverwirbelungen die von den Turbinen eines kommerziellen Passagierflugzeug im normalen Vorwärtsflug hinter dem Flugzeug erzeugt werden. Diese Luftverwirbelungen können bei einem exakten Formationsflug zur Auftriebserzeugung eines weiteren Flugzeugs verwendet werden wodurch bis zu

10% an Treibstoff gespart werden könnte. Außerdem wurde eine Studie präsentiert die die Auswirkungen eines teilweisen Verlusts eines der beiden Flügel einer Einpropeller-Maschinen thematisiert und auch einen Autopiloten zur automatischen Ausreglung des beschädigten Flugzeuges vorstellt um so einen Absturz zu verhindern.

Nennenswert sind auch einige Arbeiten zu wassergebundenen autonomen Robotern. Hier wurden unter anderem interessante Entwicklungen auf dem Gebiet der Unterwasserrobotik präsentiert, wo fischähnliche Fortbewegungsmethoden und eigens entwickelte Kamerasensoren zum Einsatz kommen

Die Invited Technical Session „Engineering Ethics, Power, Development and Minority and Majority World Countries“ bestand aus einem Übersichts -und fünf Technical Papers. In Ersteren wurde ein systematischer Zugang über ethische Aspekte bei Fehlern von internationalen Gesellschaften präsentiert. Es wurde gezeigt, dass mit diesem neuartigen Ansatz diese Fehler größtenteils vermeidbar wären. Ein weiteres Paper beschäftigte sich mit ethischen und sozialen Aspekten von Robotern. Der Begriff „Roboethics“ stammt aus dem Jahr 2002. Die Vielzahl der bisherigen Veröffentlichungen hatten überwiegend einen nichttechnischen Zugang. Daher wurde in diesem Paper versucht den technischen Aspekt in den Vordergrund zu stellen. Die weiteren Papers beschäftigten sich mit dem Einfluss der Nanotechnologie auf zukünftige Entwicklungen, einer vergleichenden Analyse von konventionellen, digitalen Datenspeicherungen in den Sozialwissenschaften sowie optimalen Netzwerkstopologien in rechnergestützten Produktions- und Managementsystemen.

In der Technical Session “Intelligent Maintenance Systems and Life Cycle Control“ wurde der Problemkreis des End of Life Management von Automatisierungs- und IT Komponenten behandelt. Es wurde ein neuer quantitativer Zugang zur Bestimmung des EoL-Wertes solcher Geräte präsentiert und an konkreten Beispielen getestet. Dies erlaubt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung inwieweit es sinnvoll ist, obgenannte Geräte sowie deren Komponenten zu demontieren. Die anderen Papers behandelten sehr unterschiedliche Themen wie beispielsweise ein Softwarepaket zur Bestimmung der Verfügbarkeit von Anlagekomponenten, Werkzeugverfügbarkeit mit Hilfe von genetischen Algorithmen sowie der gleichmäßigen Ausnutzung von Demontagelinien mit einer bestimmten Anzahl von Arbeitsstationen.

In den Poster (interaktive) Sessions hatte jeder Autor ungefähr 10 Minuten Zeit für eine Kurzpräsentation. Thematisch waren diese naturgemäß sehr heterogen. Von österreichischer Seite wurde ein Beitrag über die Reglerauslegung und Optimierung für die Gelenke eines humanoiden Roboters gehalten.

Die Public Lecture der ETH Zürich über das dynamische Verhalten von Quadrocoptern fand großen Anklang, da sie überwiegend aus Demonstrationen von acht dieser Flugobjekte bestand. Quadrocopter sind Helikopter mit vier Rotoren. Es wurden unter anderem die Flugeigenschaften sowie Formationsflüge demonstriert. Industrielle Anwendungen sind in Vorbereitung.

In einer öffentlichen Diskussion unter Leitung von Tariq Samad und Roger Goodall mit dem Titel "Mending the Gap - Connecting Academic Research and Industry Practice in Control Systems" wurde erneut die Frage erörtert, wie Industrie und Wissenschaft besser zusammenarbeiten können. Es wurde festgestellt, dass Wissenschaft und Industrie grundverschieden sind und auch bleiben sollen. Trotzdem zeigen Beispiele, dass eine für beide Seiten fruchtbare Zusammenarbeit möglich ist. Wichtig erschien, die gegenseitigen Erwartungen im Vorfeld zu besprechen und auch schriftlich zu fixieren. Eine neu gegründete "IFAC Industrial Committee Task Force" soll sich in Zukunft verstärkt diesem Thema widmen.

Österreich war mit 17 Teilnehmern sehr stark vertreten. Es gelang im Rahmen von verschiedenen TC-Meetings einige namhafte IFAC Veranstaltungen in den Jahren 2015 bis 2019 nach Österreich zu holen.

Zusammenfassend kann der 19. IFAC Weltkongress als sehr erfolgreich eingestuft werden. Die Organisation war perfekt – die Teilnehmer erhielten eine Woche vor dem Kongress eine ausführliche Information – die Präsentationen mussten spätestens 24 Stunden vorher auf einem Server hochgeladen werden und standen dann in den Vortragsräumen zur Verfügung – die verbleibende Redezeit wurden den Vortragenden auf einem großen Display laufend angezeigt – die Session-Chairmen waren strikt angehalten auf die Redezeit zu achten. Auffallend war, dass viele Autoren mehrere Papers präsentierten was beispielsweise dazu führte, dass in manchen Sessions alle Papers von zwei Rednern gehalten wurden.

In der „Closing Session“ wurde der nächste IFAC Weltkongress 2017 in Toulouse sowie der übernächste 2020 in Berlin vorgestellt und beworben.

Bericht über das **9. IFAC-Symposium “Nonlinear Control Systems - NOLCOS 2013” Toulouse**

Von 4.9.2013 bis 6.9.2013 fand das 9. IFAC-Symposium über Nonlinear Control Systems (NOLCOS) in Toulouse statt, organisiert von LAAS (Laboratoire d' Analyse et d' Architecture des Systemes), einer Forschungseinheit von CNRS (Centre National de recherche scientifique), assoziiert mit der Universität Toulouse. Es wurden mehr als 200 papers eingereicht und es nahmen Vertreter von etwa 40 Ländern teil. Es gab 9 Plenarvorträge, im Übrigen wurden die Vorträge in 3 tracks abgewickelt, wobei jede track 8 Vortragsreihen beinhaltete, in der die Vorträge themenbezogen zusammengefasst wurden. Dabei wurden auf verschiedenen Gebieten die neuesten Entwicklungen nichtlinearer Regelungssysteme behandelt sowohl in Theorie wie anhand praktischer Anwendungen. Das Symposium wurde in der Ingenieur-Schule INP-ENSEEIHT abgehalten.

Mehrere Vortragsreihen beschäftigten sich mit Lyapunov-Funktionen und deren Anwendung. Lyapunov Funktionen (benannt nach dem russischen Mathematiker Aleksander Lyapunov) spielen eine wesentliche Rolle in der Stabilitäts- und Regelungstheorie.

Weitere Vortragsreihen behandelten geometrische und algebraische Methoden, wie z.B. die Behandlung von Eigenwerten für nichtlineare Systeme oder feedback Klassifikation auf 3-dim Lie-Gruppen..

Es wurden Anwendungen aus dem Bereich der Luftfahrt und Bewegungsplanung von Fahrzeugen und Robotern behandelt, so z.B. Probleme beim Landungsanflug von Flugzeugen oder Stabilisierungsproblemen bei Hubschrauber oder auch Parkproblemen bei Autos. Auch die Kontolloptimierung von Hybridfahrzeugen oder Portalkränen wurde behandelt.

Eine Reihe von Vorträgen befasste sich mit Problemen in elektrotechnischen Systemen, wie z.B. die Behandlung von nichtlinearer Kontrolle für bidirektionale Gleichstrom-Leistungs-Konverter.

Daneben wurden auch Anwendungsgebiete aus dem Bereich der Biologie oder Biomedizin behandelt, wie z.B. die Regelung von Zellkulturen. Weiters wurden Modelle und Methoden behandelt, welche sich mit kollektiven Bewegungen und kollektiver Entscheidungsfindung bei Tiergruppen befassen. Angeregt durch die Bewegung biologischer Schlangen wurden Modelle für "Schlangenroboter" entwickelt. Im Rahmen einer Plenarsitzung wurde ein Überblick über den derzeitigen Stand in der Entwicklung und Modellierung derartiger Roboter gegeben.

In einer weiteren Vortragsreihe wurde das "Chemostat-Modell" an Hand von diversen Problemstellungen, wie z.B. feedback Kontrolle bei einem Bioreaktor oder Optimierung von Biogas-Produktion, behandelt.

In einer weiteren Vortragsreihe wurden Probleme der "Beobachtbarkeit" von System und deren Anwendungen behandelt. Dabei heißt ein System beobachtbar, wenn aus der Ununterscheidbarkeit von zwei Anfangszuständen deren Identität folgt. In mehreren Vorträgen wurde die Beobachtbarkeit von nichtlinearen Systemen behandelt. Die Beobachtbarkeit von nichtlinearen Systemen hängt von den Eingangsgrößen ab. Anwendungen finden diese Überlegungen bei mobilen Robotern.

J. Brössner

Instruction to authors – presented as a pattern paper (18 pt)

A. Maier, F. Huber (12 pt)
Department, Vienna, Austria

Received April 8, 1999

Abstract

This paper shows (italics, 12 pt)

1 General (14 pt)

Authors should prepare their manuscript camera ready, format A 4, 12 typeface and must present their manuscript in good quality. At the left/right edge 2.5 cm, at the top/bottom edge 3 cm. Authors are invited to use papers of this journal as a sample. Please do not use an eraser or erasing fluid. Footnotes should be avoided if possible. Authors are expected to submit their paper to one of the publishers (O.Univ.Prof.Dr. Peter Kopacek, Intelligent Handling Devices and Robotics, Vienna University of Technology, Favoritenstrasse 9-11, A-1040 Vienna, Austria, Fax: +43 1 58801-31899 or O.Univ.Prof.Dr. Alexander Weinmann, Institute of Automation and Control, Vienna University of Technology, Gusshausstr. 27-29, A-1040 Vienna, Austria, Fax: +43 1 58801 37699).

Email address for submitting pdf-manuscripts: weinmann@acin.tuwien.ac.at

2 References (14 pt)

Within the paper references should appear in the following form:
(Mayer, H., 1990) or (*Mayer, H., 1990*) (12 pt);
Mayer, H., 1990, discovered that....

3 Figures and Tables (14 pt)

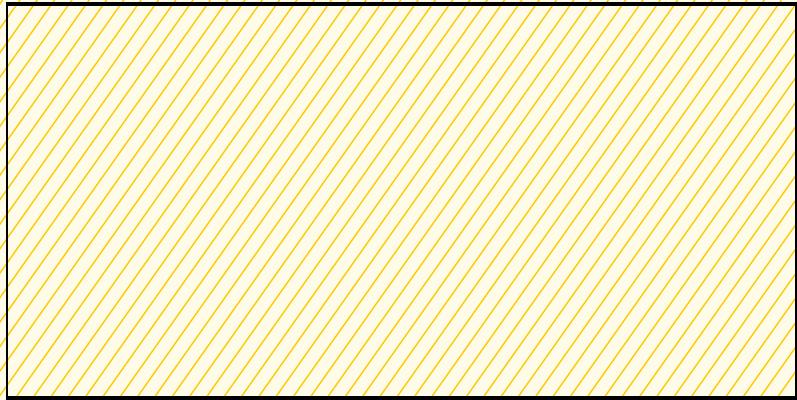
Figures and Tables should be integrated in the paper and have to be referred to as Fig. 4.1 or Tab. 5.2.

4 References

References are to be listed alphabetically according to first author. (11 pt)

5 Word Processing System/Editor

Microsoft Word 2000 or higher; TeX or LaTeX.



Wenn unzustellbar, retour an:

IFAC-Beirat Österreich (E318 / E376)
Favoritenstraße 9-11, A-1040 Wien /
Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien