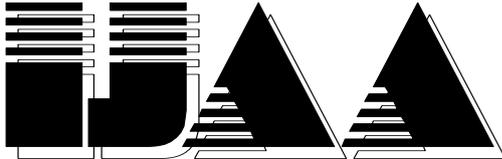
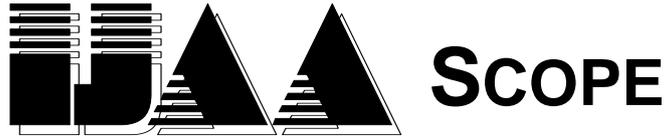


# INTERNATIONAL JOURNAL AUTOMATION AUSTRIA



HEFT 1      Jahrgang 17 (2009)

<i>INHALT</i>	<i>Seite</i>
<b>BAUER, R., GÖLLES, M., BRUNNER, T., DOURDOUMAS, N., OBERNBERGER, I.:</b> Eine Methode zur Bestimmung des Rauchgas-Massenstroms in einer Biomasse-Feuerung	1
<b>WEINMANN, A.:</b> Skew-symmetric and interdependent uncertainties	11
<b>KOPACEK, P.:</b> Robotics in Austria	23
<b>WEINMANN, A.:</b> Robust linear confining of complex nonlinearities	30
<b>Streiflichter vom 17. IFAC Weltkongress, 6.-1 Juli 2008 in Seoul, Korea</b>	50
<b>Bericht von der Informatica 2009, 13. Kongress und Ausstellung 9.-13. Februar 2009, La Habana, Cuba</b>	56



"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) 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](mailto:danzinger@acin.tuwien.ac.at)

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

and proceed to „Publikationen and IJAA“

2) Intelligente Handhabungs- und Robotertechnik (E325/A6), TU-Wien,  
A-1040 Wien, Favoritenstrasse 9-11, Austria

Layout: Rainer Danzinger

Printing: Kopierzentrum der TU Wien

# Eine Methode zur Bestimmung des Rauchgas-Massenstroms in einer Biomasse-Feuerung

R. Bauer\*, M. Gölles<sup>†</sup>, T. Brunner<sup>†</sup>, N. Dourdoumas\*, I. Obernberger<sup>†</sup>

## Kurzfassung

*In einer Biomasse-Feuerungsanlage stellt der Rauchgas-Massenstrom eine wichtige Prozessgröße dar. Trotzdem wird diese Größe bei typischen modernen Anlagen nicht ermittelt, weil die üblichen Messprinzipien entweder sehr teuer oder nicht für einen Dauereinsatz geeignet sind. In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, mit der über den Druckabfall eines Rauchrohr-Wärmeübertragers und mit Hilfe eines mathematischen Modells der Rauchgas-Massenstrom einfach, kostengünstig und sehr genau bestimmt werden kann.*

**Schlüsselwörter:** *Biomasse-Feuerungsanlage, Rauchgas-Massenstrom, Modellbildung*

## Abstract

*The flue gas mass flow is an important process factor of a biomass furnace. In spite of its importance, it is not measured in typical modern plants, because the usual measuring principles are either very expensive or not applicable for long-term operation. This article presents a simple, cheap and accurate method for determining the flue gas mass flow based on the pressure drop of a gas tube heat exchanger and a mathematical model.*

**Key words:** *Biomass furnace, Flue gas mass flow, Modelling*

## 1 Einleitung

Biomasse ist im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen ein nachhaltiger, CO<sub>2</sub>-neutraler Energieträger [5] und wird deswegen in Zukunft immer wichtiger. Allerdings weist sie im Vergleich zu fossilen Brennstoffen eine wesentlich größere Schwankungsbreite von Eigenschaften des Brennstoffs wie Wassergehalt, Korngröße, Dichte, etc auf. Soll der Verbrennungsprozess „gut“ geregelt werden, ist daher die Ermittlung von wichtigen Prozessgrößen entscheidend. Eine wichtige Größe ist der Rauchgas-Massenstrom, also der Massenstrom des heißen Gases, das den Feuerraum verlässt und etwa durch einen Wärmeübertrager geleitet wird. Beispielhaft zeigt Abbildung 1 eine typische moderne Biomasse-Flachschubrostfeuerung mit Rauchrohr-Wärmeübertrager. Aufgrund der Massenerhal-

---

\*Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, Technische Universität Graz, Kopernikusgasse 24, A-8010 Graz, email: robert.bauer@tugraz.at, nicolaos.dourdoumas@tugraz.at

<sup>†</sup>Austrian Bioenergy Centre GmbH, Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz, email: markus.goelles@abc-energy.at, thomas.brunner@abc-energy.at, obernberger@bios-bioenergy.at

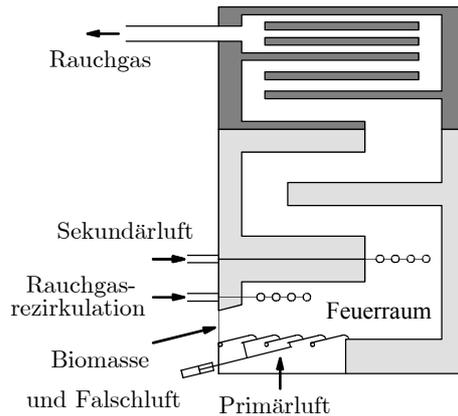


Abbildung 1: Eine typische moderne Biomasse-Feuerung

Die Messung des Rauchgas-Massenstroms muss natürlich der Rauchgas-Massenstrom gleich der Summe der Massenströme aller in den Feuerraum eingebrachten Gase sowie der aktuell umgesetzten Masse des Brennstoffs sein. Die Massenströme der gewollt eingebrachten Luft (Primär- und Sekundärluft) sowie des rezirkulierten Rauchgases können zum Beispiel über Druckdifferenzen gut und kostengünstig bestimmt werden [1]. Wesentlich schwieriger ist die Bestimmung des Massenstroms der ungewollt eingebrachten Luft (der sogenannten Falschluff, die durch den Unterdruck im Feuerraum durch Ritzen und Löcher einströmt) und der Masse des aktuell umgesetzten Brennstoffs.

Durch die relativ hohe Temperatur und die Staubbelastung des Rauchgases ist eine Messung des Massenstroms nicht einfach. Meistens werden *Prandtl*-Rohre eingesetzt, die jedoch schnell verschmutzen und nicht für einen Dauereinsatz geeignet sind. Im vorliegenden Beitrag wird gezeigt, wie der Druckabfall über den Wärmeübertrager für eine sehr genaue Abschätzung des Massenstroms verwendet werden kann. Hierzu werden zunächst die in [1] vorgestellten mathematischen Modelle erweitert. Anschließend wird ein einfacher Zusammenhang zwischen Druckabfall und Massenstrom hergestellt, was insbesondere aufgrund der starken Temperaturänderung und dem weitgehend unbekanntem Temperaturprofil im Wärmeübertrager bemerkenswert ist. Abschließend wird die Funktionstüchtigkeit des neu entwickelten Modells mit Messdaten, die im Rahmen von Testläufen an einer Versuchsanlage des *Kplus*-Kompetenzzentrums Austrian Bioenergy Centre (thermische Nennleistung von 180 [kW]) aufgezeichnet wurden, gezeigt.

## 2 Druckabfall und Massenstrom

Strömt ein Fluid durch ein glattes Rohr, kann der „rohrige“ Druckabfall  $\Delta p$  mit

$$\Delta p = R_1 \dot{V}^{1.75} \quad \text{mit} \quad R_1 = 0.242 \frac{\mu^{0.25} \rho^{0.75} L}{D^{4.75}} \quad (1)$$

gut beschrieben werden [1]. Bei einer Blende ergibt sich für den „blendigen“ Druckabfall:

$$\Delta p = R_2 \dot{V}^2 \quad \text{mit} \quad R_2 = \frac{\rho}{2\alpha^2 A_d^2} \quad (2)$$

Hierbei sind  $\dot{V}$  der Volumenstrom,  $\mu$  die Viskosität,  $\rho$  die Dichte,  $L$  die Rohrlänge,  $D$  der Rohrdurchmesser,  $\alpha$  die Durchflusszahl (eine vom Öffnungsverhältnis und der *Reynolds*-Zahl abhängige, dimensionslose Kennzahl, die in [4] tabellarisch vorliegt und im vorliegenden Fall als konstant angenommen werden kann) und  $A_d$  die Querschnittsfläche der Blende. Meistens treten beide Arten von Druckabfall gleichzeitig auf (Abbildung 2), womit

$$\Delta p = R_1 \dot{V}^{1.75} + R_2 \dot{V}^2 \quad (3)$$

gilt. Nun soll die Abhängigkeit des Druckabfalls vom Massenstrom untersucht werden. Da

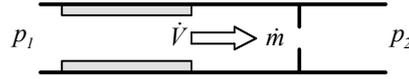


Abbildung 2: Rohriger und blendiger Druckabfall

Volumen- und Massenstrom über die Dichte  $\rho$  zusammenhängen

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}, \quad (4)$$

ergibt sich

$$\Delta p = \underbrace{\frac{R_1}{\rho^{1.75}}}_{=: \bar{R}_1} \dot{m}^{1.75} + \underbrace{\frac{R_2}{\rho^2}}_{=: \bar{R}_2} \dot{m}^2 \quad (5)$$

und für die neuen, massenstrombezogenen Widerstandswerte erhält man:

$$\bar{R}_1 = 0.242 \frac{\mu^{0.25} L}{\rho D^{4.75}} \quad \text{und} \quad \bar{R}_2 = \frac{1}{2\rho\alpha^2 A_d^2}. \quad (6)$$

## 2.1 Temperaturabhängigkeit der Koeffizienten

Es soll zunächst die Temperaturabhängigkeit der Dichte  $\rho$  von einem idealen Gas betrachtet werden, für das die Gasgleichung

$$pv = RT \quad (7)$$

gilt (spezifisches Volumen  $v$ , spezifische Gaskonstante  $R$ , absolute Temperatur  $T$ ). Man erhält

$$\rho(T) = \frac{1}{v} = \frac{p}{RT}, \quad (8)$$

bei annähernd konstantem Druck ist die Dichte daher indirekt proportional zur absoluten Temperatur. Die Viskosität  $\mu$  eines Rauchgases mit typischer Zusammensetzung ist in grober Näherung direkt proportional zur absoluten Temperatur

$$\mu(T) \approx cT \quad (9)$$

(mit dem Proportionalitätsfaktor  $c$ ), wobei die Temperaturabhängigkeit der Viskosität in Wirklichkeit etwas geringer ist (siehe Abbildung 3). In Gleichung (6) eingesetzt erhält

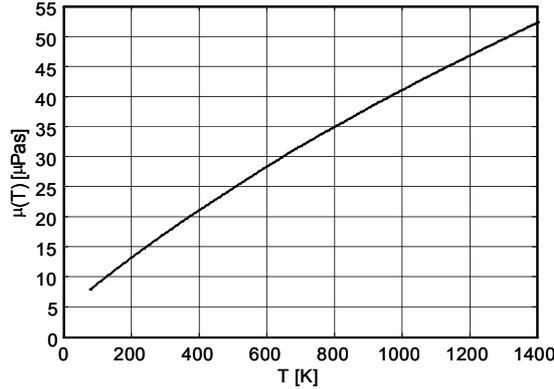


Abbildung 3: Viskosität als Funktion der Temperatur, beispielhaft für eine typische Rauchgaszusammensetzung

man

$$\bar{R}_1(T) = 0.242 \frac{c^{0.25} LR}{pD^{4.75}} T^{1.25}, \quad (10)$$

wobei die Viskosität eigentlich ein bisschen weniger stark von der Temperatur abhängt. Somit erscheint die Näherung

$$\bar{R}_1(T) \approx c_1 T \quad (11)$$

gerechtfertigt. Für  $\bar{R}_2$  erhält man sogar exakt die proportionale Beziehung

$$\bar{R}_2(T) = \frac{R}{2p\alpha^2 A_d^2} T = c_2 T. \quad (12)$$

### 3 Druckabfall im Wärmeübertrager

Abbildung 4 zeigt den Rauchgasweg für einen typischen Rauchrohr-Wärmeübertrager, wie er für Warm- und Heißwasserkessel in Biomasse-Feuerungsanlagen eingesetzt wird [3]. Das Rauchgas wird in sogenannten Rauchgaszügen durch ein oder mehrere parallele Rohre geleitet und in den Wendekammern umgelenkt. Die Rohre selbst befinden sich im Inneren eines mit einem anderen Medium (meist Wasser) gefüllten Zylinders. Da die Wärme vom Rauchgas auf das andere Medium übertragen wird, sinkt die Temperatur des Rauchgases beim Durchströmen des Wärmeübertragers kontinuierlich und ist bei stationären Verhältnissen nur von der Position  $x$  abhängig.

Die in Abschnitt 2 hergeleitete Beziehung (5) für den gesamten Druckabfall

$$\Delta p = \bar{R}_1 \dot{m}^{1.75} + \bar{R}_2 \dot{m}^2 \quad (13)$$

würde nur bei konstanter Temperatur gelten. Diese Voraussetzung trifft beim Wärmeübertrager sicher nicht zu. Im Folgenden wird gezeigt, wie der Druckabfall bei einer sich stark ändernden Temperatur berechnet werden kann.

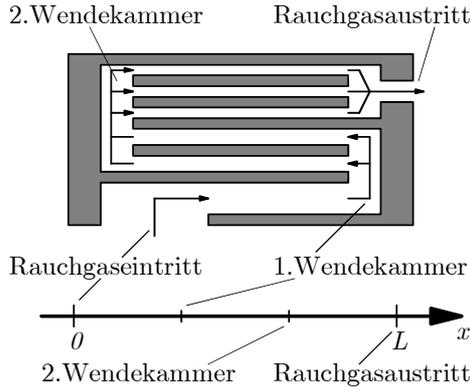


Abbildung 4: Weg des Rauchgases durch einen Rauchrohr-Wärmeübertrager mit mehreren Rauchgaszügen

### 3.1 Homogene Widerstandsverteilung

Zunächst soll eine homogene Verteilung für rohrigen und blendigen Widerstand im Wärmeübertrager angenommen werden (Abbildung 5). Diese im Allgemeinen nicht zutref-

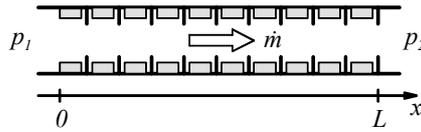


Abbildung 5: Homogene Verteilung von rohrigem und blendigem Widerstand im Wärmeübertrager

fende Annahme wird im nächsten Abschnitt wieder fallen gelassen, führt aber hier zu einer besonders einfachen Herleitung: Wäre nämlich die Rauchgastemperatur konstant, würde sich ein konstanter Druckabfall pro Längeneinheit ergeben. Bei nicht konstanter Rauchgastemperatur erhält man

$$\frac{d(\Delta p)}{dx} = \frac{\bar{R}_1}{L} \dot{m}^{1.75} + \frac{\bar{R}_2}{L} \dot{m}^2, \tag{14}$$

wobei die Koeffizienten  $\bar{R}_1$  und  $\bar{R}_2$  nur von der Temperatur abhängen, die an der jeweiligen Position herrscht. Für den gesamten Druckabfall ergibt sich

$$\Delta p = \int_0^L \left( \frac{\bar{R}_1(T(x))}{L} \dot{m}^{1.75} + \frac{\bar{R}_2(T(x))}{L} \dot{m}^2 \right) dx \tag{15}$$

bzw. mit Gleichungen (11) und (12) eingesetzt:

$$\Delta p = \int_0^L \left( \frac{c_1 T}{L} \dot{m}^{1.75} + \frac{c_2 T}{L} \dot{m}^2 \right) dx = c_1 \underbrace{\frac{1}{L} \int_0^L T(x) dx}_{=:\bar{T}_W} \dot{m}^{1.75} + c_2 \underbrace{\frac{1}{L} \int_0^L T(x) dx}_{=:\bar{T}_W} \dot{m}^2. \tag{16}$$

Das genaue Temperaturprofil im Wärmeübertrager ist daher gar nicht notwendig, es genügt eine einzige (!) „mittlere Wärmeübertrager-Temperatur“  $\bar{T}_W$ , mit der der gesamte Druckabfall beschrieben werden kann:

$$\Delta p = \bar{R}_1 (\bar{T}_W) \dot{m}^{1.75} + \bar{R}_2 (\bar{T}_W) \dot{m}^2. \quad (17)$$

### 3.2 Inhomogene Widerstandsverteilung

Nun soll eine beliebige Verteilung für rohrigen und blendigen Widerstand angenommen werden. Deren relative Verteilung soll mit einer normierten Verteilungsdichtefunktion  $\alpha_1(x)$  für den rohrigen und mit  $\alpha_2(x)$  für den blendigen Widerstand beschrieben werden, es gilt daher für beide Funktionen:

$$\int_0^L \alpha_1(x) dx = \int_0^L \alpha_2(x) dx = 1. \quad (18)$$

Für den Druckabfall pro Längeneinheit erhält man nun (vergleiche Gleichung (14))

$$\frac{d(\Delta p)}{dx} = \alpha_1 \frac{\bar{R}_1}{L} \dot{m}^{1.75} + \alpha_2 \frac{\bar{R}_2}{L} \dot{m}^2 \quad (19)$$

und für den gesamten Druckabfall ergibt sich

$$\Delta p = c_1 \underbrace{\frac{1}{L} \int_0^L \alpha_1(x) T(x) dx}_{=: T_{W1}} \dot{m}^{1.75} + c_2 \underbrace{\frac{1}{L} \int_0^L \alpha_2(x) T(x) dx}_{=: T_{W2}} \dot{m}^2. \quad (20)$$

Das genaue Temperaturprofil ist daher wieder nicht notwendig, es genügen diesmal zwei gewichtete „mittlere Wärmeübertrager-Temperaturen“  $T_{W1}$  und  $T_{W2}$ , mit denen der gesamte Druckabfall beschrieben werden kann:

$$\Delta p = \bar{R}_1 (T_{W1}) \dot{m}^{1.75} + \bar{R}_2 (T_{W2}) \dot{m}^2. \quad (21)$$

### 3.3 Berechnung des Rauchgas-Massenstroms

Wie in [1] gezeigt, kann die Summe zweier Potenzen näherungsweise mit einer einzigen Potenz dargestellt werden (Anhang A):

$$\Delta p = \bar{R}_1 \dot{m}^{1.75} + \bar{R}_2 \dot{m}^2 \approx \bar{R} \dot{m}^q. \quad (22)$$

Für den Massenstrombereich  $0 \leq \dot{m} \leq \dot{m}_{\max}$  (mit dem anlagenspezifischen maximalen Rauchgas-Massenstrom  $\dot{m}_{\max}$ ) können  $\bar{R}$  und  $q$  mit

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 \dot{m}_{\max}^{1.75} + \bar{R}_2 \dot{m}_{\max}^2}{\dot{m}_{\max}^q} \quad \text{und} \quad q = \frac{1.75 \bar{R}_1 \dot{m}_{\max}^{1.75} + 2 \bar{R}_2 \dot{m}_{\max}^2}{\bar{R}_1 \dot{m}_{\max}^{1.75} + \bar{R}_2 \dot{m}_{\max}^2} \quad (23)$$

berechnet werden, für den Rauchgas-Massenstrom ergibt sich schlussendlich:

$$\dot{m}_{\text{RG}} = \left( \frac{\Delta p}{\bar{R}} \right)^{1/q}. \quad (24)$$

## 4 Bestimmung der mittleren Wärmeübertrager-Temperatur

Die theoretische Berechnung der gewichteten mittleren Wärmeübertrager-Temperaturen  $T_{W1}$  und  $T_{W2}$  erweist sich als äußerst schwierig, da im Allgemeinen weder das Temperaturprofil noch die beiden Verteilungsdichtefunktionen  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  bekannt sind. Wünschenswert wäre daher eine einfache Bestimmung über andere Prozessgrößen. Simulationsstudien [3] zeigen, dass prinzipiell die Rauchgas-Eintrittstemperatur oder die Rauchgas-Austrittstemperatur geeignet wäre. Die Ermittlung der Eintrittstemperatur erweist sich aber als schwierig [2], weshalb im Folgenden die Rauchgas-Austrittstemperatur  $T_{RG}$  untersucht wird. Da aufgrund der Bauform des betrachteten Wärmeübertragers (siehe Abbildung 4) angenommen werden kann, dass die beiden Wärmeübertrager-Temperaturen  $T_{W1}$  und  $T_{W2}$  ähnlich groß sind, werden sie gleich gesetzt:

$$T_W := T_{W1} = T_{W2}. \quad (25)$$

Ein Ansatz mit unterschiedlichen Temperaturen führte zu keiner Verbesserung des Ergebnisses, womit die getroffene Annahme zusätzlich untermauert wird.

Bei einem Testlauf an einer Versuchsanlage wurden der Druckabfall über den Wärmeübertrager, der Rauchgas-Massenstrom  $\dot{m}_{RG}$  (mit einem *Prandtl*-Rohr) und die Rauchgas-Austrittstemperatur  $T_{RG}$  gemessen. Abbildung 6 zeigt nun eine Gegenüberstellung der Rauchgastemperatur mit einer für jeden Zeitpunkt berechneten Wärmeübertrager-Temperaturen  $T_W$ . Diese Temperatur wurde so berechnet, dass der sich ergebende Rauchgas-Massenstrom nach Gleichung (24) mit dem Messwert übereinstimmt. Die dafür notwendigen Koeffizienten  $c_1$  und  $c_2$  (Gleichungen (11) und (12)) wurden zuvor mit Messdaten von Versuchen im kalten Zustand mit Hilfe numerischer Optimierungsalgorithmen unter Minimierung eines quadratischen Gütefunktionalen ermittelt. Der in Abbildung

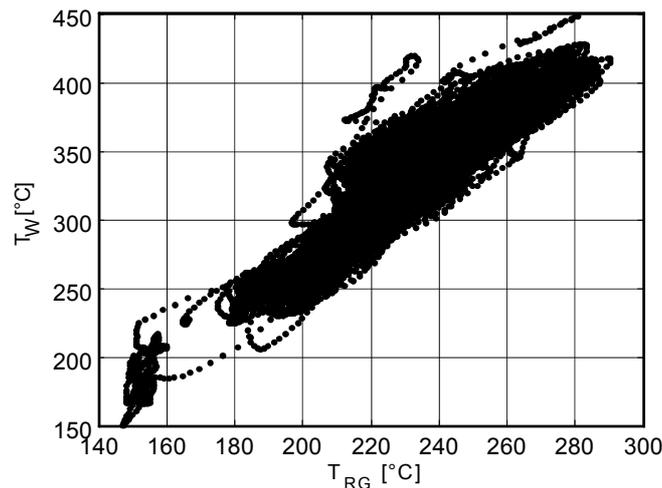


Abbildung 6: Rauchgas-Austrittstemperatur  $T_{RG}$  und berechnete Wärmeübertrager-Temperaturen  $T_W$  im Vergleich

6 erkennbare Zusammenhang legt einen affinen Ansatz der Form

$$T_W = kT_{RG} + d \quad (26)$$

nahe. Die Koeffizienten  $k$  und  $d$  wurden wieder mit Hilfe numerischer Optimierungsverfahren bestimmt. Die Funktionstüchtigkeit dieses Ansatzes sowie des gesamten mathematischen Modells wird im Folgenden gezeigt.

## 4.1 Experimentelle Verifikation

Abbildungen (7) und (8) zeigen den mit einem *Prandtl*-Rohr an einer Versuchsanlage des *Kplus*-Kompetenzzentrums Austrian Bioenergy Centre (Rostfeuerung mit nachgeschaltetem Rauchrohr-Wärmeübertrager, thermische Nennleistung 180 [kW]) gemessenen sowie den mit dem mathematischen Modell berechneten Rauchgas-Massenstrom  $\dot{m}_{RG}$ . Beide

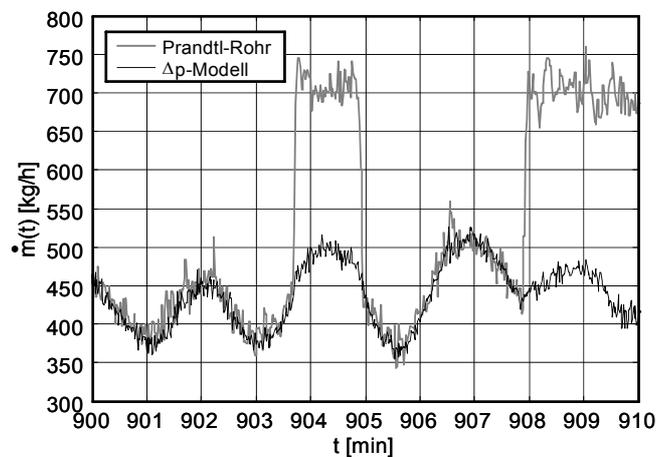


Abbildung 7: Modellvergleich bei Rückschlagklappenschwingen

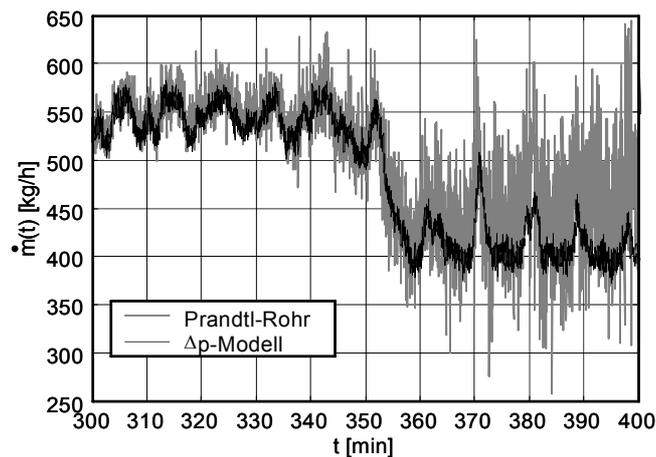


Abbildung 8: Modellvergleich bei verschmutzendem *Prandtl*-Rohr

Bilder zeigen auch die Problematik von *Prandtl*-Rohren: Bei Abbildung (7) schwingt eine Rückschlagklappe im Rauchgas-Rezirkulationskanal, verursacht Druckschwankungen in der gesamten Anlage und führt zu fehlerhaften Messwerten. Bei Abbildung (8) verlegen Asche-Partikel im Rauchgas zunehmend das *Prandtl*-Rohr und führen ebenfalls zu

fehlerhaften Messwerten. Zu den Zeitpunkten, bei denen das *Prandtl*-Rohr richtig misst, ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung beider Werte. Im Gegensatz zur Messung mittels *Prandtl*-Rohr treten bei der Bestimmung des Rauchgas-Massenstroms über den Druckabfall des Wärmeübertragers die genannten Probleme nicht auf.

## 5 Zusammenfassung

Es wurde eine Methode vorgestellt, mit der über den Druckabfall eines Rauchrohr-Wärmeübertragers der Rauchgas-Massenstrom bestimmt werden kann. Hierfür ist die einmalige experimentelle Ermittlung der Konstanten  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $k$  und  $d$  (Gleichungen (11), (12) und (26)) für den betrachteten Wärmeübertrager erforderlich. Die Methode ist einfach, kostengünstig und - im Vergleich zu üblicherweise eingesetzten *Prandtl*-Rohren - wesentlich zuverlässiger. Die Funktionstüchtigkeit wurde anhand von Versuchen an der Feuerungsanlage des *Kplus* - Kompetenzzentrums Austrian Bioenergy Centre gezeigt. Folgende Einsatzmöglichkeiten sind denkbar:

- Der Rauchgas-Massenstrom kann nun über einen längeren Zeitraum auch unter industriellen Bedingungen zuverlässig und kostengünstig ermittelt werden.
- Mit dem Rauchgas-Massenstrom und einer groben Abschätzung der Massenbilanz können sofort fehlerhafte Zustände der Feuerungsanlage erkannt werden.
- Das entwickelte Modell kann für eine modellbasierte Regelung verwendet werden.

## 6 Danksagung

Diese Arbeit ist im Rahmen eines Projekts des Austrian Bioenergy Centre (*Kplus*-Programm) entstanden, welches mit Mitteln der Republik Österreich sowie der Länder Steiermark und Niederösterreich gefördert wird.

## A Eine Näherung für die Summe zweier Potenzen

Für gegebene Parameter  $\bar{R}_1$ ,  $\bar{R}_2$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  sollen  $\bar{R}$  und  $q$  so bestimmt werden, dass die Gleichung

$$\bar{R}_1 \dot{m}^{q_1} + \bar{R}_2 \dot{m}^{q_2} = \bar{R} \dot{m}^q \quad (27)$$

im Bereich  $0 \leq \dot{m} \leq \dot{m}_{\max}$  näherungsweise „gut“ erfüllt ist. Für den speziellen Wert  $\dot{m} = 0$  ist sie klarerweise exakt erfüllt. Gleiches gilt für die erste Ableitung der Gleichung nach  $\dot{m}$ :

$$q_1 \bar{R}_1 \dot{m}^{q_1-1} + q_2 \bar{R}_2 \dot{m}^{q_2-1} = q \bar{R} \dot{m}^{q-1}. \quad (28)$$

Daher ist die Gleichung (27) für  $|\dot{m}| \ll 1$  (sogar unabhängig von der Wahl für  $\bar{R}$  und  $q$ ) näherungsweise erfüllt. Eine naheliegende Idee ist nun,  $\bar{R}$  und  $q$  so zu bestimmen, dass die

beiden Gleichungen (27) und (28) für den Wert  $\dot{m} = \dot{m}_{\max}$  exakt gelöst sind. Dadurch ist die Gleichung (27) für  $|\dot{m} - \dot{m}_{\max}| \ll \dot{m}_{\max}$  und somit im gesamten Bereich  $0 \leq \dot{m} \leq \dot{m}_{\max}$  näherungsweise erfüllt. Es ergibt sich für  $\bar{R}$  und  $q$ :

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 \dot{m}_{\max}^{q_1} + \bar{R}_2 \dot{m}_{\max}^{q_2}}{\dot{m}_{\max}^q} \quad \text{und} \quad q = \frac{q_1 \bar{R}_1 \dot{m}_{\max}^{q_1} + q_2 \bar{R}_2 \dot{m}_{\max}^{q_2}}{\bar{R}_1 \dot{m}_{\max}^{q_1} + \bar{R}_2 \dot{m}_{\max}^{q_2}}. \quad (29)$$

Für die spezielle Wahl  $\dot{m}_{\max} = 1$  erhält man mit

$$\bar{R} = \bar{R}_1 + \bar{R}_2 \quad \text{und} \quad q = \frac{q_1 \bar{R}_1 + q_2 \bar{R}_2}{\bar{R}_1 + \bar{R}_2} \quad (30)$$

besonders einfache Berechnungsvorschriften.

## Literatur

- [1] Bauer R., Göllés M., Brunner T., Dourdoumas N., Obernberger I.: Modellierung der Druck- und Volumenstromverhältnisse in einer Biomasse-Feuerung. *Automatisierungstechnik* 55 (2007) 8, S. 404-410
- [2] Bauer R., Göllés M., Brunner T., Dourdoumas N., Obernberger I.: Was messen Temperatursensoren in einer Biomasse-Feuerung wirklich? *Automatisierungstechnik* 55 (2007) 12, S. 600-607
- [3] Bauer R., Göllés M., Brunner T., Dourdoumas N., Obernberger I.: Modellierung des dynamischen Verhaltens der Wärmeübertragung in einem Rauchrohr-Wärmeübertrager. Akzeptiert zur Veröffentlichung in *Automatisierungstechnik*
- [4] Deutscher Normenausschuß: Durchflußmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen. DIN 1952, 1971
- [5] Obernberger I.: *Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen*. dbv-Verlag, Graz, 1997

# Skew-Symmetric and Interdependent Uncertainties

Alexander Weinmann, OVE, 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`

January 22, 2009

## Abstract

*This article is addressed to specific interdependent uncertainties, which may be symmetric or skew-symmetric. Taking the actual dependent uncertainties into consideration avoids undue conservatism. Beside several results some problems are stated to initiate later research.*

**Keywords:** Multiple uncertainties, stability degree

## 1 Introduction

A multitude of methods exists for the analysis of uncertain systems. Most of them are applicable for standard linear models, e.g., independent coefficients of the closed-loop polynomial of a continuous-time system, edge theorem etc. (*Barmish, B.R., 1994; Kharitonov, V.L., 1979; Morari, M., and Zafiriou, E., 1989; Weinmann, A., 1991* ).

An interesting phenomenon arises in some cases of application if the uncertainties are interdependent. This arises due to physical or chemical properties, e.g., electrical resistance versus temperature or pressure.

For obvious reasons, fewer parameters contaminated by uncertainties entail fewer stability problems. If uncertain parameters are dependent on each other, it is worth while to include this fact into the stability analysis in order to avoid superfluous constellations

affecting stability. If a problem with dependent uncertainties is solved via a method for independent uncertainties, one has to expect that the result contains conservatism, i.e., parameter combinations are included into the mathematical analysis although they do not exist in the real-world problem.

If, e.g., two uncertainty parameters  $\gamma$  and  $\delta$  depend on each other according to  $|\gamma| + |\delta| \leq 1$ , they should not be overestimated by independent uncertainties  $|\gamma| \leq 1, |\delta| \leq 1$  in a rectangle; the area of uncertainties would be doubled superfluously.

Several symptomatic examples are given in what follows.

## 2 Skew-Symmetric Coefficients of a Second-Order System

Consider an unstable open-loop dynamic system of second order  $V/[(s + p_1)(s + p_2)]$ , where  $p_1 < 0, p_2 > 0, |p_1| < |p_2|$ . Suppose skew-symmetric uncertainties  $\Delta p_1 \equiv -\Delta p_2$ , determined, e.g., by resistance following temperature or pressure properties. In the closed-loop characteristic polynomial  $p_{cl}(s)$  the factor of  $s^0$  can be forced to stay greater zero and to guarantee a stable closed-loop system; however, the factor  $V$  must be sufficiently large.

In Fig. 1 the parameter plane contains the uncertainty box around the nominal values  $p_1 = -3, p_2 = 4$  with uncertainty size  $\Delta p = 1$ . Three corners 1, 2, 3 and the interior of the rectangle above the stability border correspond to stable control systems. If  $\Delta p_1 \equiv -\Delta p_2$  holds only the dash dot distance at the diagonal of the rectangle is representative. The fourth corner of the rectangle would represent an unstable system; hence, it is left out of consideration. Basic root locus analysis reminds this simple fact as well.

An extension of this example to the third order by introducing a third parameter  $3000 < p_3 < 4200$  leads to Fig. 2. The third coordinate in the figure is the inverse  $1/p_3$ .

The denominator polynomials of the open-loop and closed-loop system transfer function are

	sys open-loop	sysT closed-loop
1	(s-2) (s+5) (s+4200)	(s+4200) (s <sup>2</sup> + 2.995s + 11.43)
2	(s-2) (s+3) (s+4200)	(s+4200) (s <sup>2</sup> + 0.9949s + 15.43)
3	(s-4) (s+5) (s+4200)	(s+4200) (s <sup>2</sup> + 0.9949s + 1.429),

the numerator is 90000. Only the area of the tilted thick-line rectangle comprises the admissible parameters  $p_1, p_2, p_3$ .

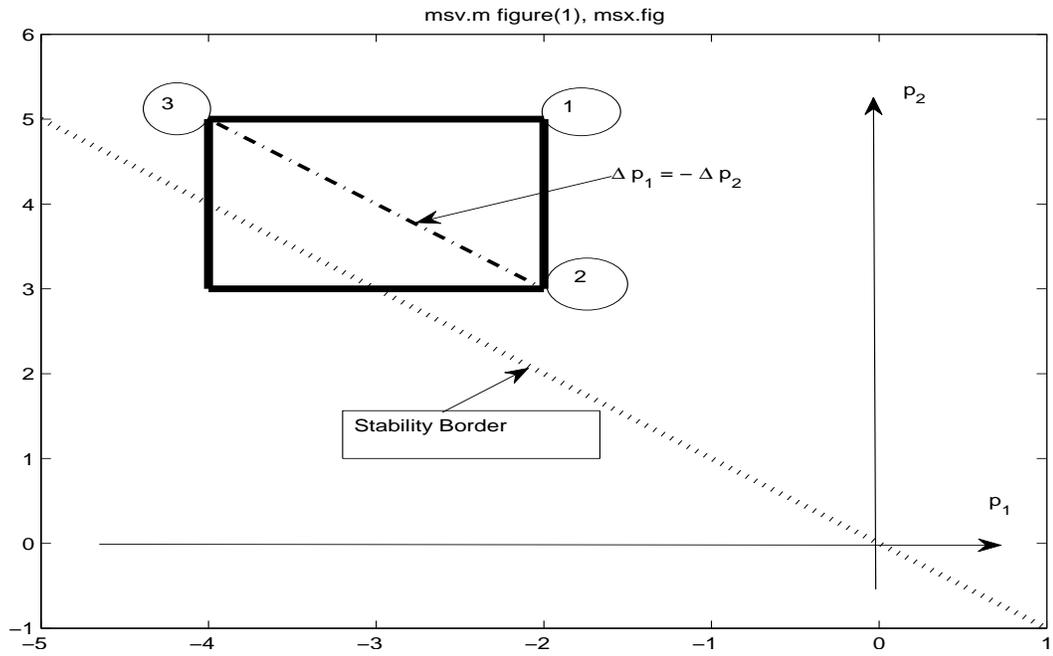


Figure 1: Two-dimensional parameter plane

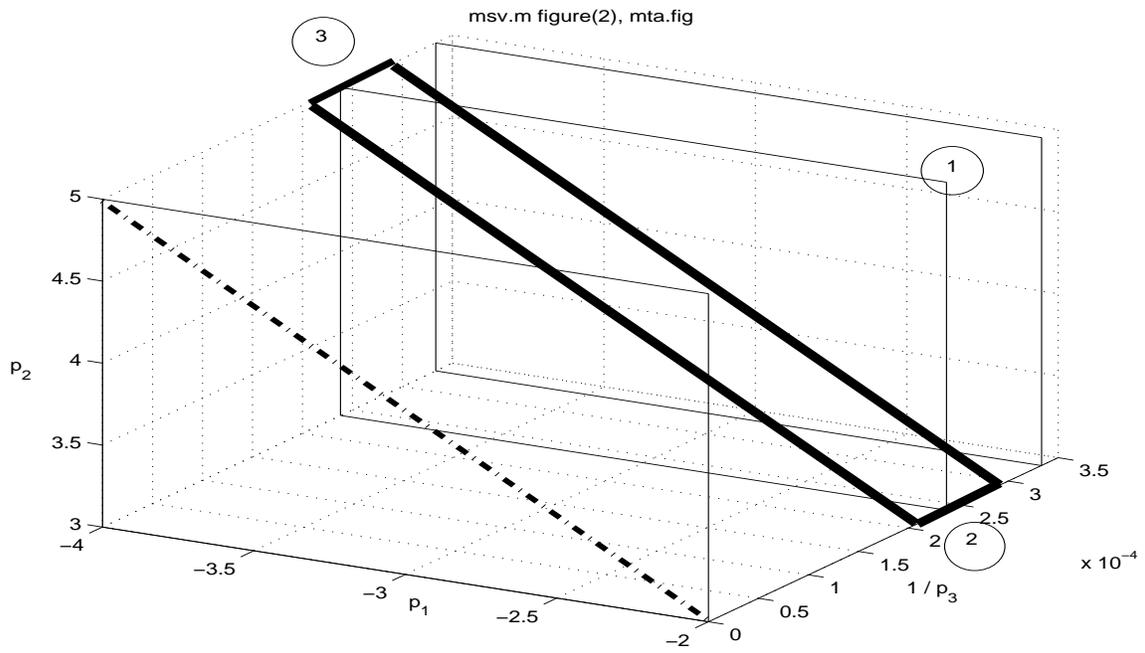


Figure 2: Three-dimensional parameter plane

For the sake of illustration, corner impulse responses are depicted in Figs. 3 and 4. Selecting any point in the tilted rectangle leads to results between `sys2` and `sys3`.

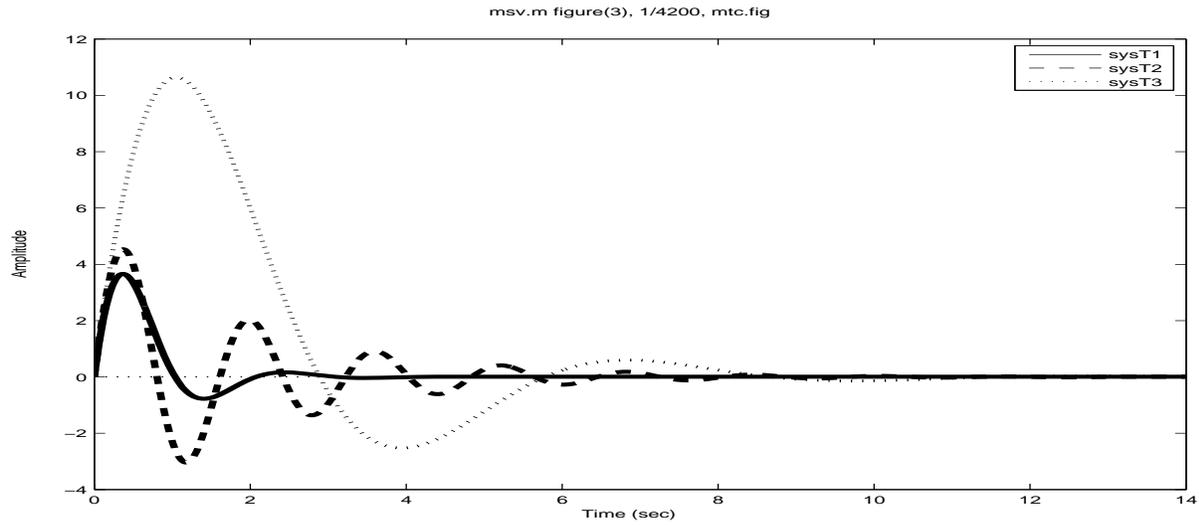


Figure 3: Impulse responses for  $p_3 = 4200$

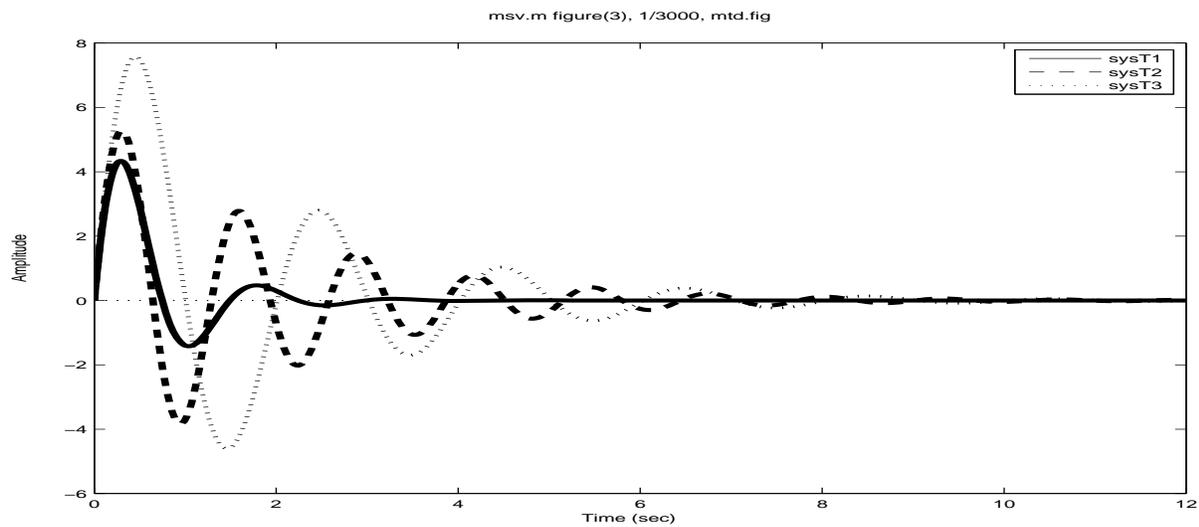


Figure 4: Impulse responses for  $p_3 = 3000$

If some more uncertainty interdependencies are supposed, e.g.,  $\Delta p_1 \equiv -\Delta p_2 \equiv -\Delta p_3$ , then only the diagonal of the tilted rectangle in Fig. 2 would be relevant. In spite of third order of dynamics the uncertainty dependence would be of first order, only.

### 3 Two Dependent Uncertainties

In a system of third order,

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.5 p_2 & -p_1 & -p_2 \end{pmatrix}, \quad p_1 = 3.2, \quad p_2 = 2.5, \quad c_o = 3 \quad (1)$$

the parameter  $p_2$  arises twice, the parameter  $p_1$  only once

$$p_{cl}(s) = s^3 + p_2 s^2 + p_1 s + 0.5 p_2 \quad (2)$$

in the characteristic polynomial. A uniformly distributed pseudo-random noise  $\rho_i = [0 \ 1]$  on the unit interval is selected for the uncertainty increments of  $p_1$  and  $p_2$ , i.e.,  $\Delta p_1 = c_o(\rho_1 - 0.5)$ ,  $\Delta p_2 = c_o(\rho_2 - 0.5)$ . In Fig 5, the cloud of poles is demonstrated for thousand random changes in the parameters; in the left half, the parameter uncertainty changes are supposed independent, in the right half dependent  $\Delta p_2 \equiv \Delta p_1$ . The worst eigenvalue is  $-0.1159$  and  $-0.3311$  for independent and dependent changes, respectively.

A concise solution would require: Find  $\max_{k=\{1, 2\}} \Re [s_k]$  s. t.  $\det[s\mathbf{I}_2 - \mathbf{A}(\mathbf{p})] = 0$ , where  $\mathbf{p} = \begin{pmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \end{pmatrix}$  and  $-c_o/2 < \Delta p_i < +c_o/2$ . Or, for  $p_2 \equiv p_1$ , select  $\sigma$  such that  $p_{cl}/s + \sigma$  from Eq.(2) satisfies the Kharitonov condition; the result is  $\sigma = -0.3311$ .

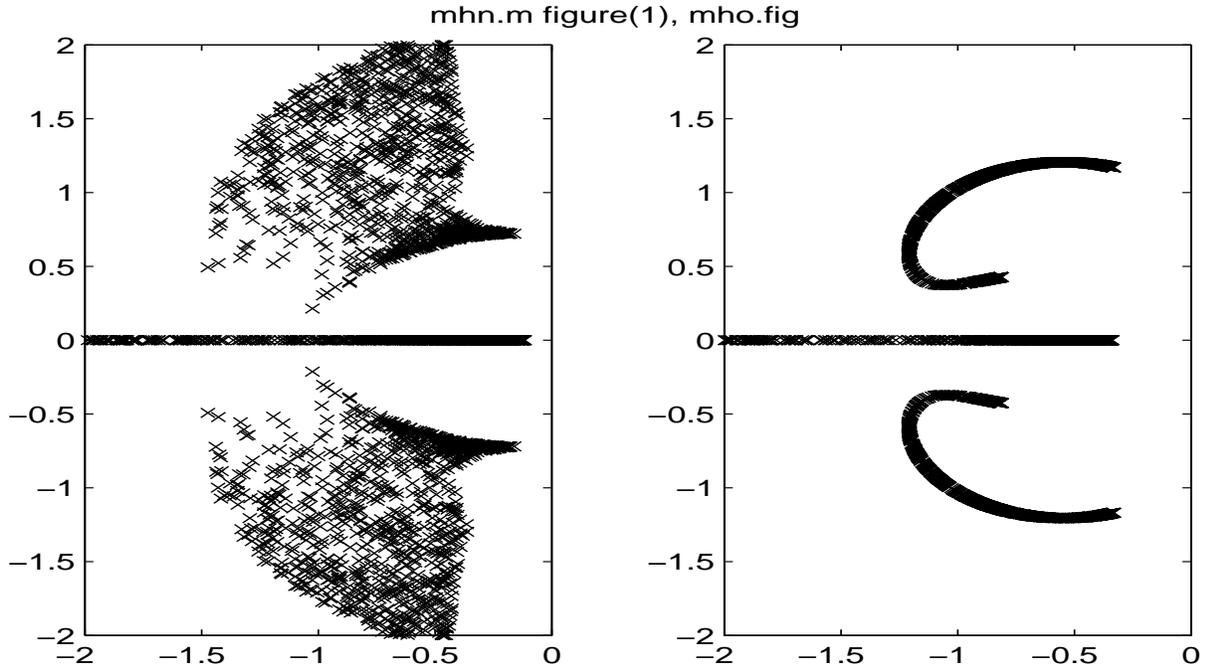


Figure 5: Cloud of eigenvalues for independent and dependent changes of the uncertainty

## 4 Two Pairs of Dependent Uncertainties

Similarly to the preceding example, suppose

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & p_1 \\ -0.5 p_2 & -p_1 & -p_2 \end{pmatrix}, \quad p_1 = 3.2, \quad p_2 = 2.5, \quad c_o = 3. \quad (3)$$

Fig. 6 shows the cloud of poles in the independent and dependent case, respectively. Dependent means  $\Delta p_1 \equiv \Delta p_2$ . For the sake of illustration, in Figs. 7 and 8 the impulse responses are depicted. (It could be easily shown in state space that the fact of double existence of  $p_2$  can be transferred into an equivalent  $\Delta \mathbf{A}$  with square terms of  $p_1$ .)

The Figs. 7 and 8 demonstrate the difference caused by superfluously independent parameters  $\Delta p_1$  and  $\Delta p_2$ .

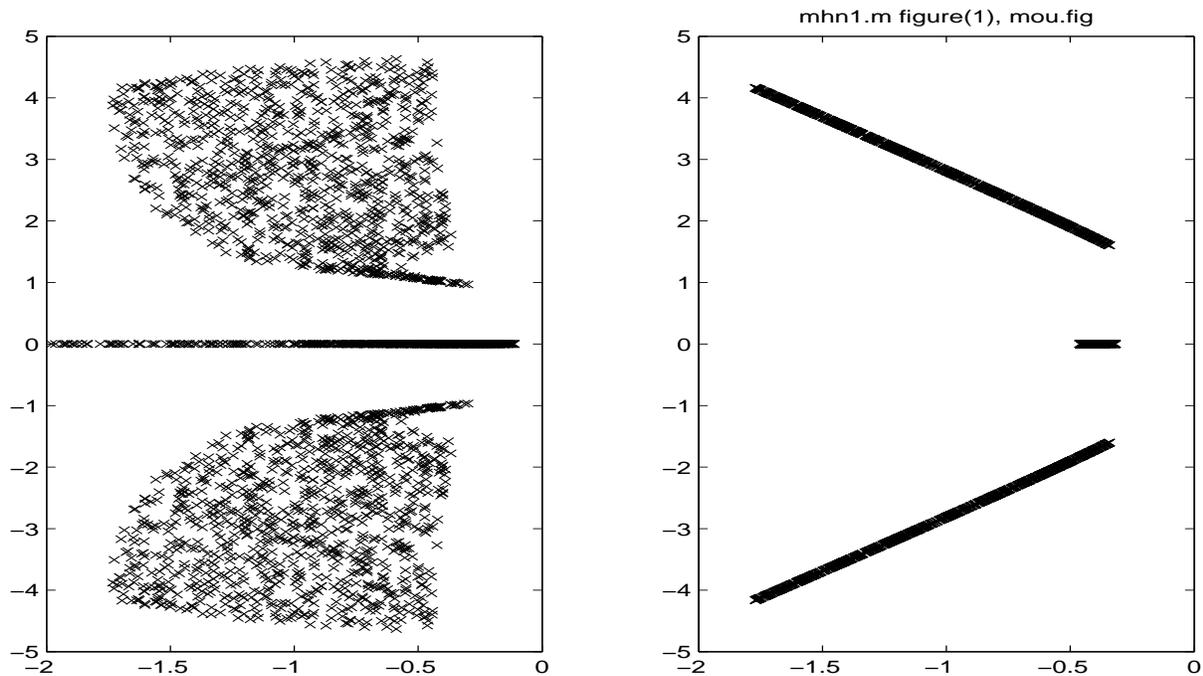


Figure 6: Cloud of eigenvalues for two pairs of independent and dependent eigenvalues

Finally, results are given in Fig. 9 for ten runs with thousand random uncertainty assumptions each. For each run in the independent case, the worst uncertainty and the corresponding worst eigenvalue are selected and depicted. In spite of remarkable scattering of the uncertainties, the corresponding worst eigenvalue is almost constant at  $-0.11$ .

In the dependent case, the scattering of  $\Delta p_1$  is practically zero, given by the line  $-1.5$  at the bottom of Fig. 9.

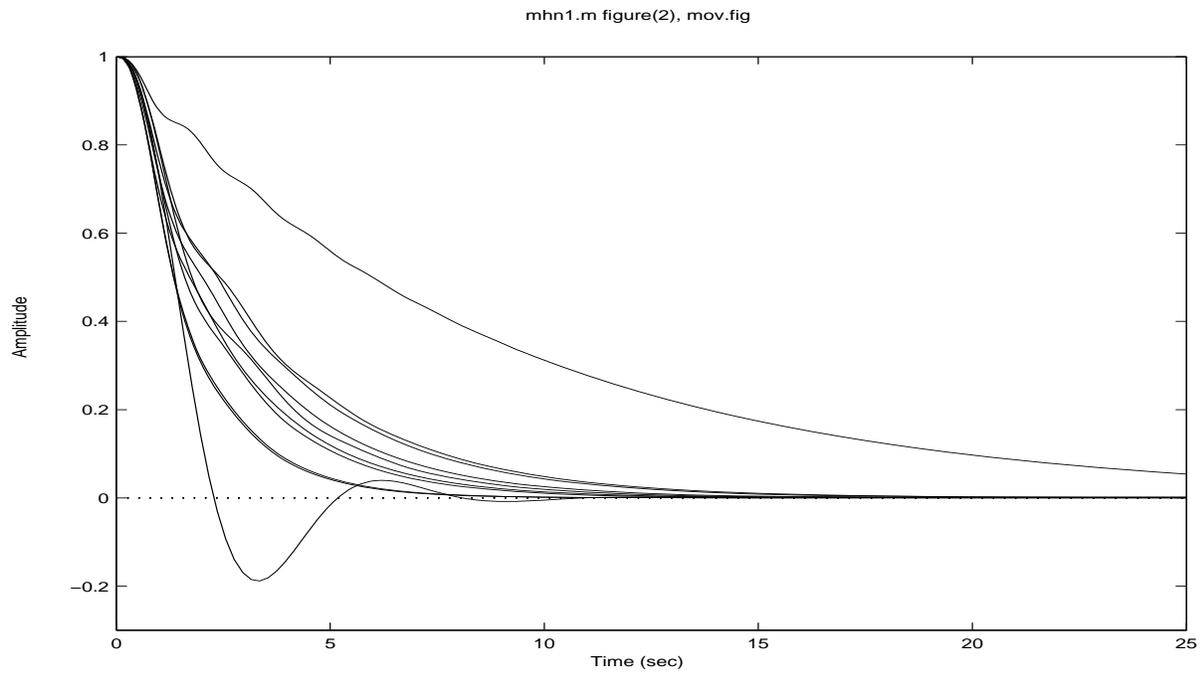


Figure 7: Impulse responses for the independent case

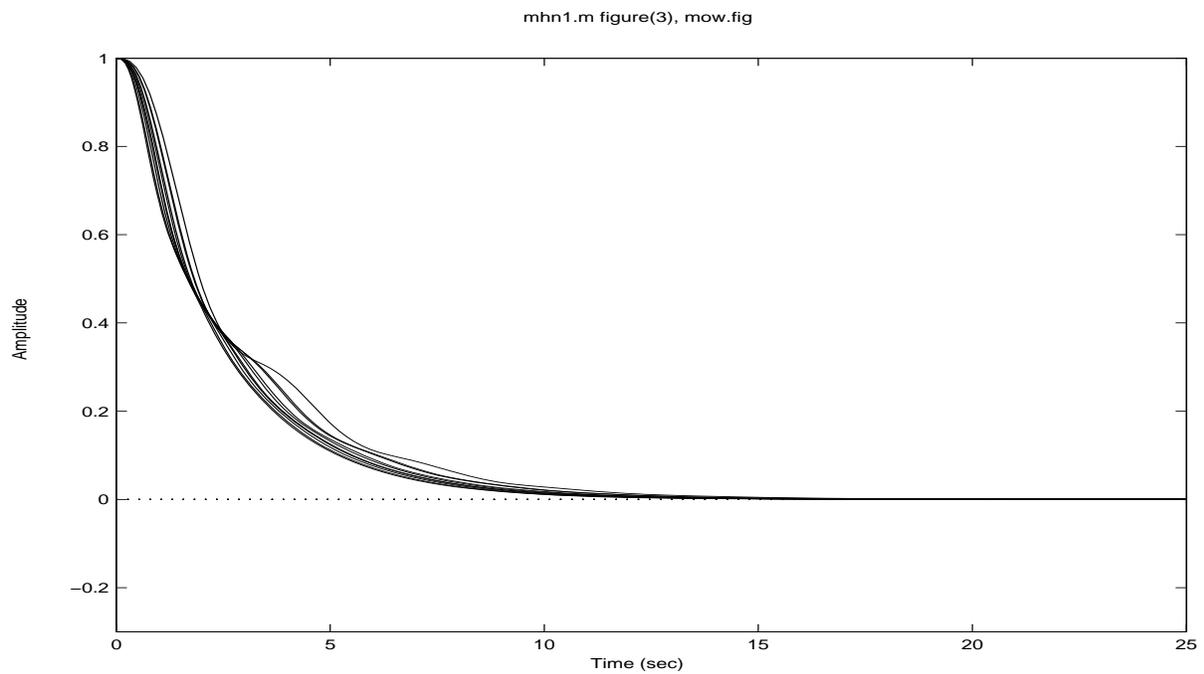


Figure 8: Impulse responses for the dependent case

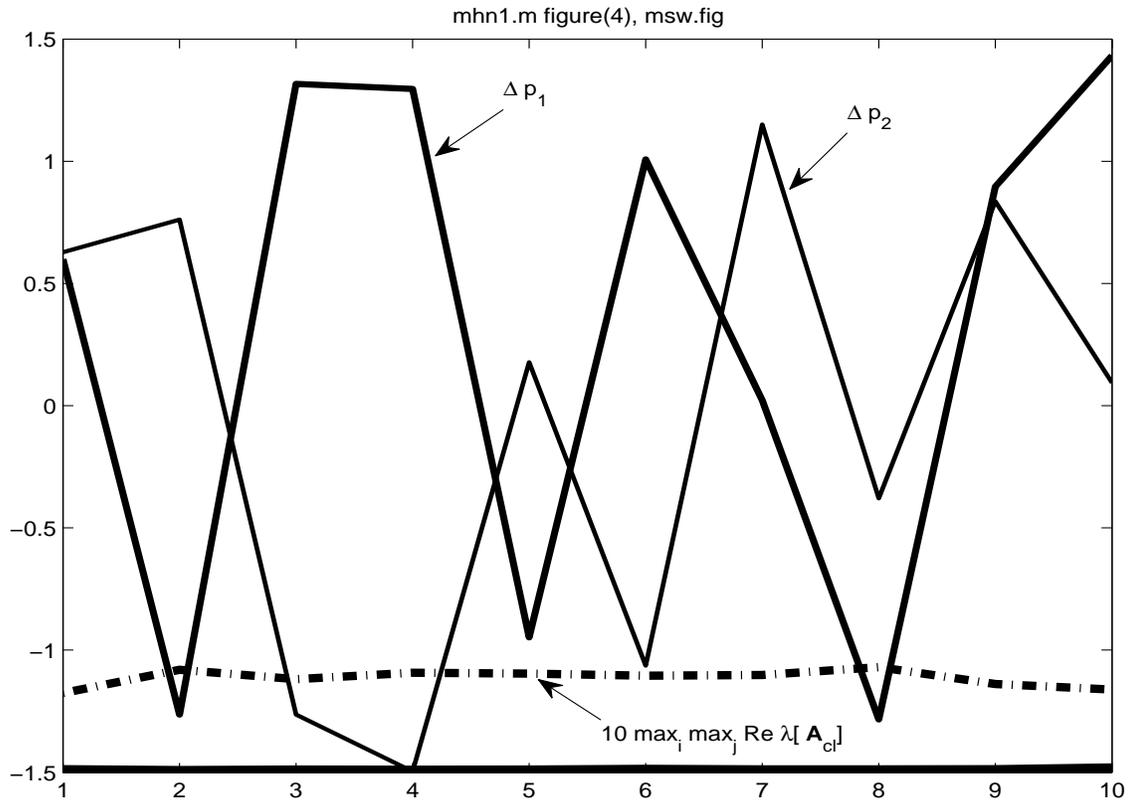


Figure 9: Uncertainties for worst eigenvalue in the dependent case and influence on the worst eigenvalue

## 5 Multiplicative Uncertainty. Independent and Dependent Case

Consider a system of second order. The plant transfer functions is

$$G(s) = \frac{1}{[s + a(1 + \alpha)][s + b(1 + \beta)]}, \quad (4)$$

the controller is a state controller  $(k_1, k_2)$  and the input matrix  $(0 \ 1)^T$ . Which is the largest admissible uncertainty  $(\alpha, \beta)$  to force the system to a closed-loop eigenvalue at  $\sigma_0$  at the real axis ? One finds

$$(-\sigma_0 \mathbf{I} + \mathbf{A}_{clp}) = \begin{pmatrix} -\sigma_0 & 1 \\ -ab(1 + \alpha)(1 + \beta) + k_1 & -\sigma_0 - a(1 + \alpha) - b(1 + \beta) + k_2 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

For square uncertainty  $r = 2$  and the independent case, the derivatives with respect to  $\alpha$  and  $\beta$  of the expression

$$a^2 \alpha^2 + b^2 \beta^2 + \mu \det(\sigma_0 \mathbf{I} - \mathbf{A}_{clp}) \quad (6)$$

must vanish (*Weinmann, A., 2008*). There result two linear equations with the Lagrange multiplier  $\mu$  as a parameter. Resolving yields

$$\alpha = \frac{\mu(\mu\sigma_0 + a\mu - 2\sigma_0 - 2b)}{a(4 - \mu^2)}, \quad \beta = \frac{\mu(\mu\sigma_0 + b\mu - 2\sigma_0 - 2a)}{b(4 - \mu^2)}. \quad (7)$$

In Fig. 10, the details are depicted versus the Lagrange multiplier.

In the dependent case, if  $\alpha = \beta$ , the corresponding result requires only a single differential quotient, and one finds

$$\alpha = \beta = \frac{-\mu\sigma_0(a + b)}{2(a^2 + b^2 + \mu ab)}. \quad (8)$$

The details are depicted versus the Lagrange multiplier in Fig. 11. In the dependent case, a larger uncertainty  $\|\Delta \mathbf{A}\|_2$  is admissible, roughly three times as large as in Fig. 10.

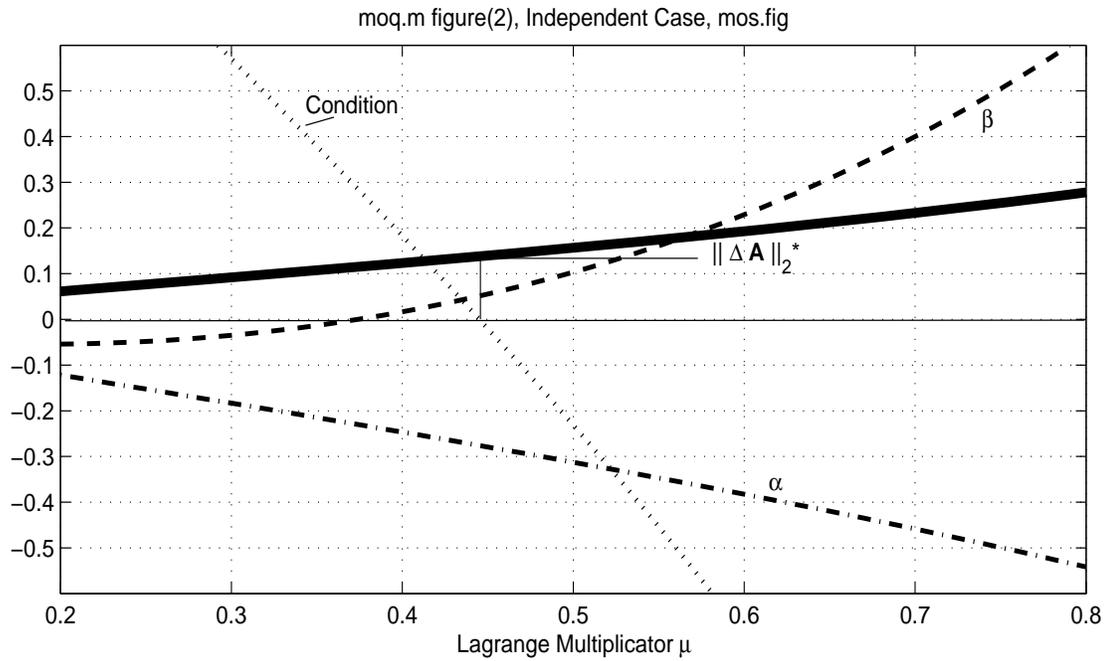


Figure 10: Independent uncertainties  $\alpha$  and  $\beta$  and  $\|\Delta \mathbf{A}\|_2 = \sqrt{\alpha^2 a^2 + \beta^2 b^2}$

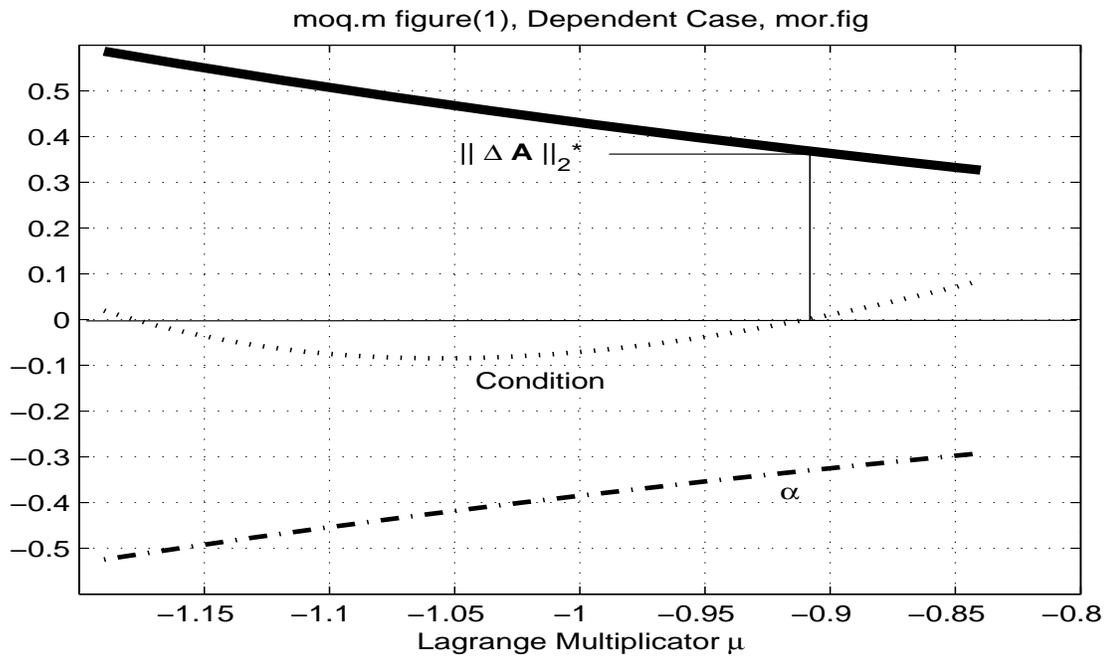


Figure 11: Dependent uncertainties and  $\|\Delta \mathbf{A}\|_2 = \alpha \sqrt{a^2 + b^2}$

## 6 Dependent Time Constants

Consider a closed-loop dynamic system with the coefficients of the characteristic polynomial in decending order as follows  $[ 0.61p_1p_2p_3, 2p_1p_3, p_3, 1 ]$ . The nominal case is  $p_1 = 1, p_2 = 22, p_3 = 10$ . In the independent case, the time constants  $p_i$  are changed according to  $\Delta p_i = c_o(\rho_i - 0.5)$ ,  $c_o = 2$ .

The worst root is  $-0.013$  and  $-0.020$  in the independent and dependent case, respectively.

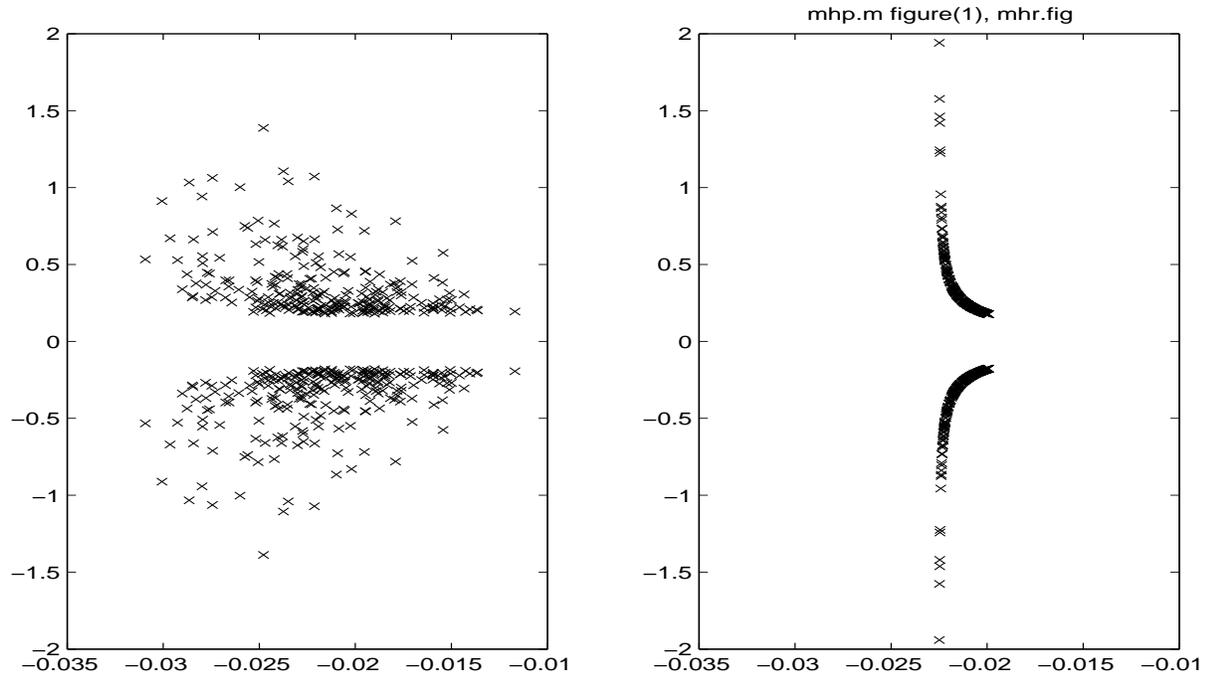


Figure 12: Sample of significant eigenvalues in the independent and dependent case

A selection of significant roots is depicted in Fig. 12.

## 7 Conclusion

No doubt, to declare real-world uncertainties independent (although they depend on each other) can alleviate the mathematical problem of finding stability conditions, but it may be the reason for conditions which are only sufficient, sometimes excessively sufficient.

Five examples demonstrate quite astonishing results. Whenever dependence between uncertainties are detectable, one should have an eye on their effects and consequences.

### References

- Barmish, B.R., 1994*, New tools for robustness of linear systems, New York: Macmillan.
- Kharitonov, V.L., 1979*, Asymptotic stability of an equilibrium position of a family of systems of linear differential equations, *Differential Equations* **14**, pp. 1483-1485
- Morari, M., and Zafriou, E., 1989*, Robust process control, Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Weinmann, A., 1991*, Uncertain models and robust control, Vienna and New York: Springer.
- Weinmann, A., 2008*, The admissible spherical uncertainty for dynamic systems in state space, *Cybernetics and Systems: An International Journal* **39**, No 5, pp. 480-501

# Robotics in Austria

Peter Kopacek  
Intelligent Handling and Robotics – IHRT  
Vienna University of Technology  
Favoritenstrasse 9; E325A6  
1040 Wien  
Phone: +43 1 58801 31800  
email: [kopacek@ihrt.tuwien.ac.at](mailto:kopacek@ihrt.tuwien.ac.at)

## Abstract

*After an short introduction in “modern” robotics (industrial robots, mobile robots and humanoid robots) the state of the art of robotics in Austria is evaluated in companies as well as research and University institutes. These results yield to an overview on current robot research and applications in Austria. Companies producing peripherally devices are also included. Finally niches in robotics as future application fields for Austrian activities are identified.*

## 1 Introduction

Robotics is currently a very fast growing field not only in science and industrial application. In the last time more and more mass media are interested in this field because a broader public is in favour to get familiar with these new “intelligent machines”. It is a first step for the realisation of the old dream of humans to have a robot available looking and acting like a human.

According to last estimates the worldwide market for future “advanced” robot systems is forecast to be in excess of €55 Billion per annum by 2025. Therefore the main task of this contribution is to give Austrian companies as well as research and University institutes a first overview on current activities and future development trends in the field of “modern” robotics.

## 2 Robots

Industrial robots have been widely applied in many fields to increase productivity and flexibility and to help workers from physically heavy and dangerous tasks.

*Definition according to ISO 8373: A manipulating industrial robot is an automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator programmable in three or more axes which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications.*

From similar aspects the need on robots in service sectors - like robots in hospitals, in households, in amusement parks - is rapidly increasing.

*Definition: A service robot is a robot which operates semi- or fully autonomously to perform services useful to well- being of the humans and equipment, excluding manufacturing operations.*

Cheap and accurate sensors with a high reliability are the basis for „intelligent“ robots. These intelligent robots can be used for conventional as well as complex applications. Furthermore new applications not only in industry are possible.

There are three “starting” points for the development of intelligent robots: Conventional, stationary industrial robots; Mobile, unintelligent platforms (robots) and Walking mechanisms.

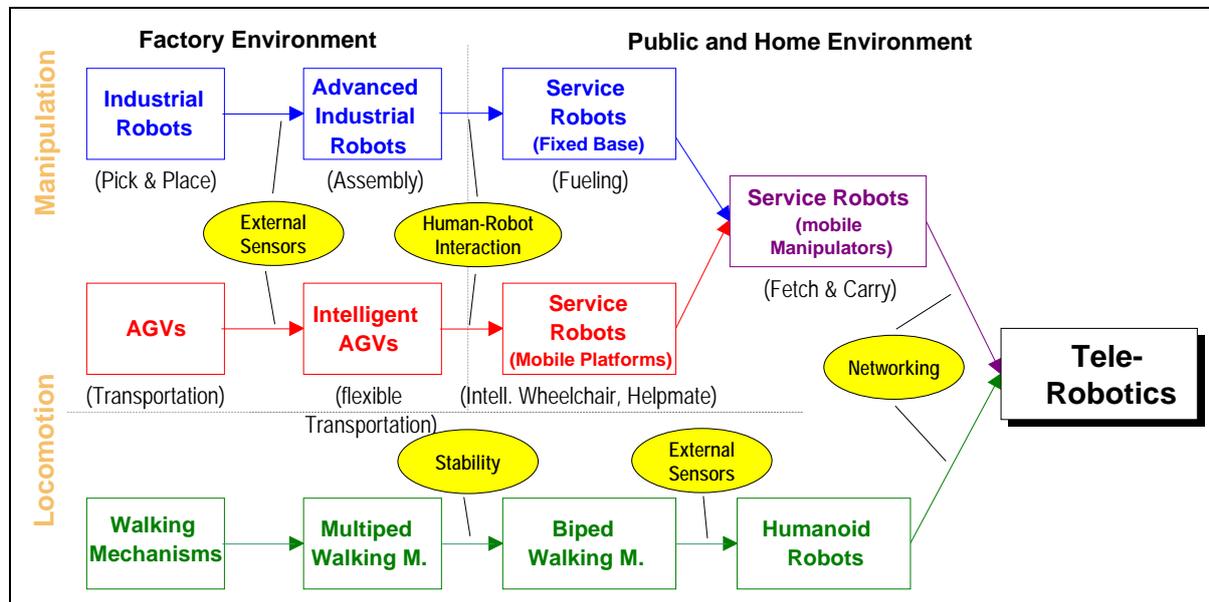


Fig. 1. From Industrial to Service Robots (Kopacek 2005)

Stationary industrial robots are nowadays equipped with external sensors for “intelligent” operations e.g assembly and disassembly, fuelling cars... and are “intelligent” robots.

Partially intelligent mobile platforms “Autonomous Guided Vehicles – AGV`s“ are available since some years and are introduced in industry. Equipped with additional external sensors (Intelligent Autonomous Guided Vehicles – Intelligent AGV`s) are currently slowly introduced in industry and cover a broad application field.

Walking machines or mechanisms are well known since some decades. Usually they have 4 to 6 legs (multiped) and only in some cases 2 legs (biped). Walking on two legs is from the view point of control engineering a very complex (nonlinear) stability problem. Biped walking machines equipped with external sensors are the basis for “humanoid” robots. Some prototypes of such robots are available today (Kopacek, 2005).

In addition these intelligent robots – especially mobile platforms and humanoid robots - are able to work together on a common task in a cooperative way. The goal is so called “Multi Agent Systems – MAS”. A MAS consists of a distinct number of robots (agents), equipped with different devices e.g. arms, lifts, tools, gripping devices ... and a host computer. A MAS has to carry out a whole task e.g. assemble a car. The host computer divides the whole task in a number of subtasks (e.g. assembling of wheels, windows, brakes ...) as long as all this subtasks can be carried out by at least one agent. The agents will fulfil their subtasks in cooperative way until the whole task is solved.

One of the newest application areas of service robots is the field of entertainment, leisure and hobby because people have more and more free time. In addition modern information

technologies lead to loneliness of the humans (tele-working, tele-banking, tele-shopping, and others). Therefore service robots will become a real “partner” of humans in the nearest future. One dream of the scientists is the “personal” robot. In 5, 10 or 15 years everybody should have at least one of such a robot because the term personal robot is derived from personal computer and the price should be equal (Kopacek, 2008).

### 3 Robots in Austria

The stock of operational robots in Austria at the end of 2006 reached 4382 units. From these are 2981 for handling and machine tending, 630 for welding and soldering, 225 for processing operations, 128 for assembly and disassembly and the rest of 418 for various applications in use (IFR, 2007).

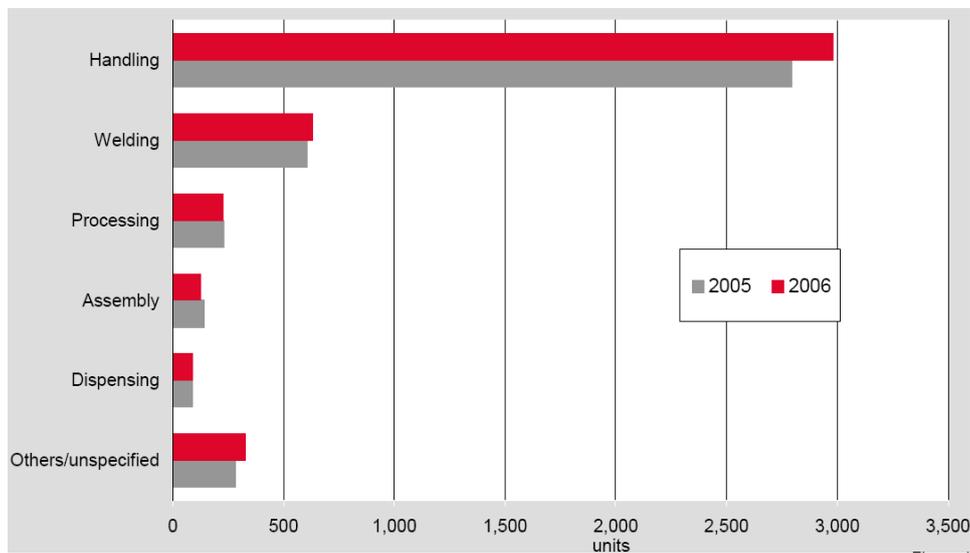


Fig. 2. Operational stock of industrial robots at year-end in Austria by applications 2005-2006 (IFR 2007)

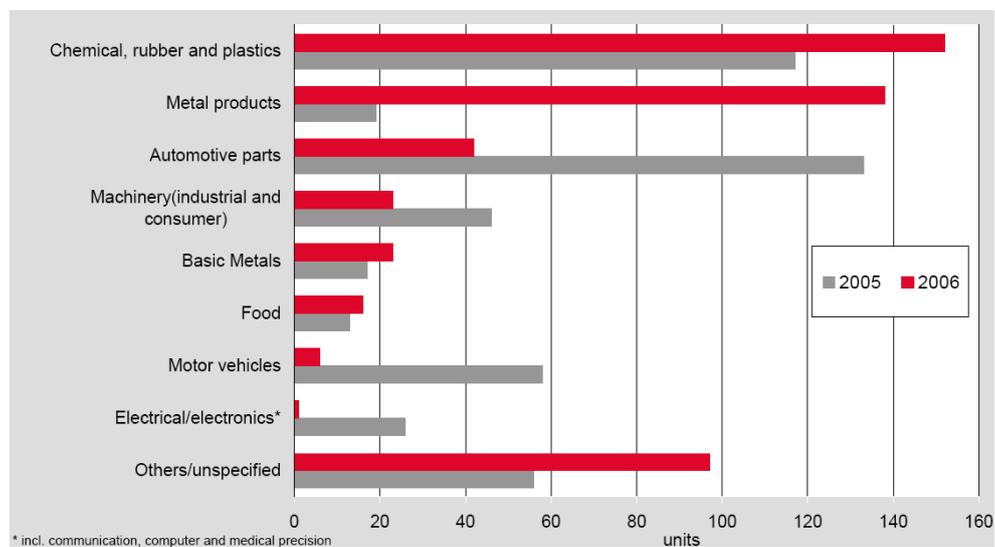


Fig. 3. Estimated yearly supply of industrial robots at year-end in Austria by main industries 2005-2006 (IFR 2007)

The rubber and plastics industry became the largest application area in 2006, with a share of 29% of the total supply. The number of units purchased increased by 26%. Sales to the metal products industry surged from 19 units to 138 units. The supply to the automotive industry plummeted by 75%. Supplies to general industry – all industries except the automotive – increased by 46% (Fig.3 ).

From 18 Institutes of Universities and Universities of Applied Sciences are working 13 in the field of mobile robots , 12 in industrial robots, 11 in software and 4 are developing humanoid robots. 7 Research Centres work mostly in industrial robots, mobile robots and software. 57 Industrial robot or robot components producers - most of them system integrators - deals with Industrial Robots, some specialised in mobile robots.

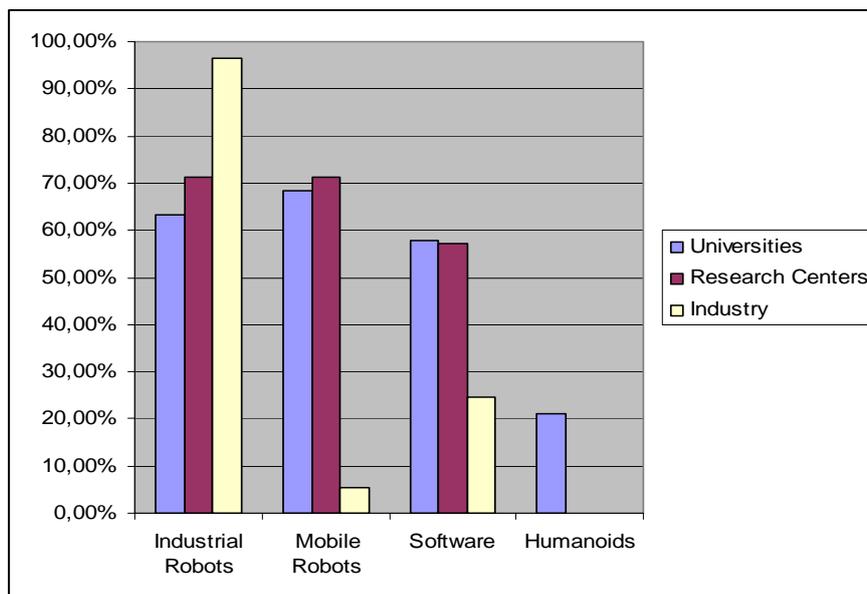


Fig.4. Companies and Institutions working in the specified fields of robotics in percent (Kopacek, Gattringer, 2008)

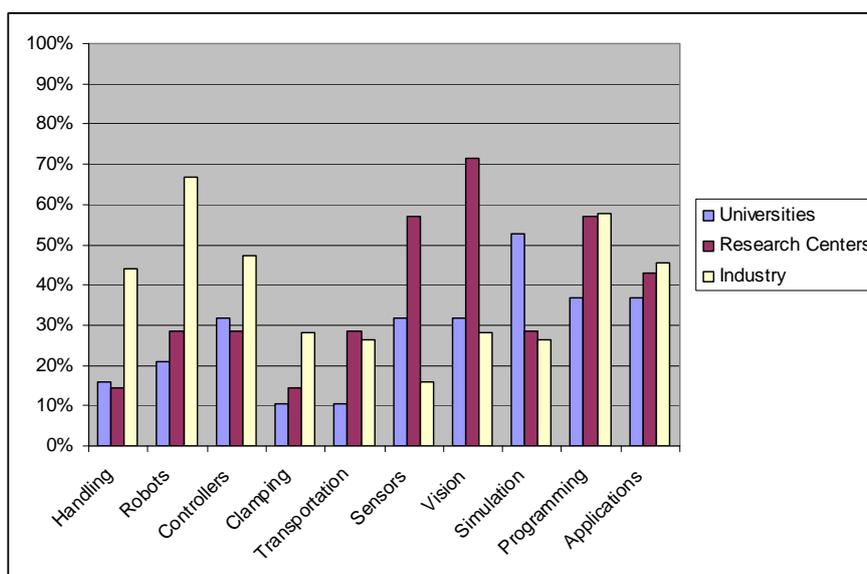


Fig.5. Sectioning of industrial robots in percent (Kopacek, Gattringer, 2008)

In Fig. 5 it can be seen that industry is more active in handling, robots, controllers, programming and applications. The research centres have their maximum in sensors, vision and simulation. For universities, simulation is the main field.

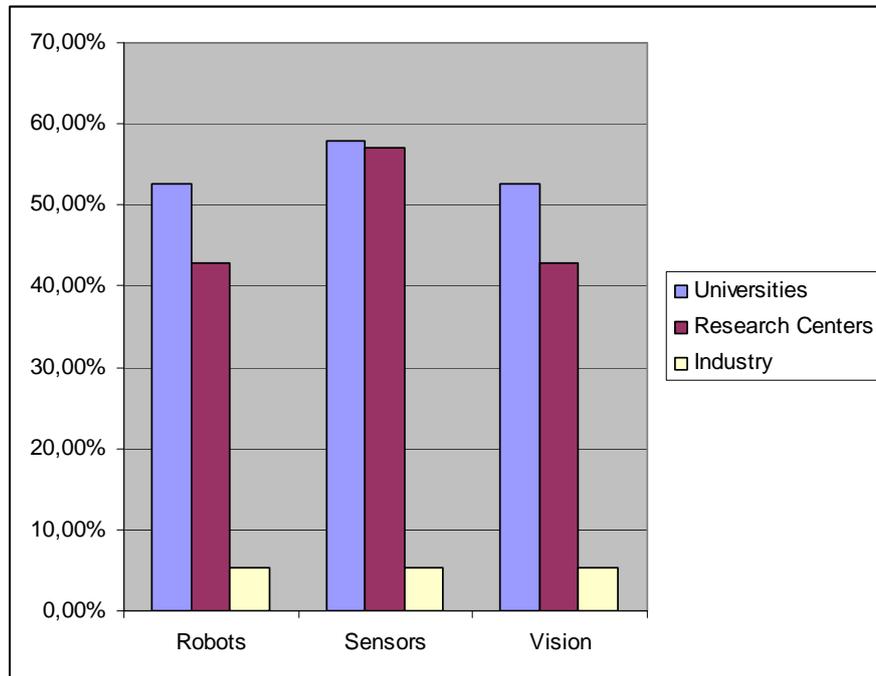


Fig. 6. Sectioning of mobile robots in percent (Kopacek, Gattringer, 2008)

The activities of the industry in the field of mobile robotics are low. These are mainly Automated Guided Vehicles – AGV's for transportation purposes. Mobile robots are one of

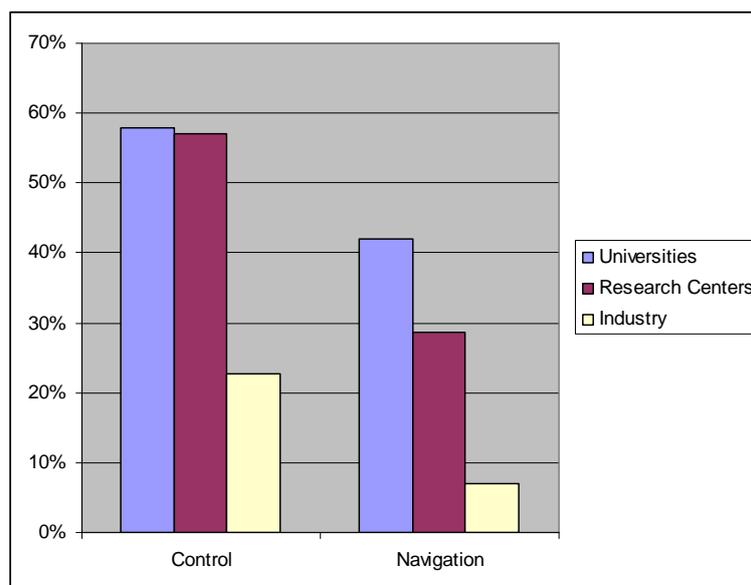


Fig. 7. Sectioning of software in percent

the bases of the service robotics. However, nowadays the industry does not focus on this future area.

## 4 Summary

In 2006 from the 950.974 worldwide installed industrial robots 315.624 or 33.2% were installed in Europe. The 4.382 robots in Austria are 0.46% of the worldwide or 1.38% of the installed robots in Europe.

In the forecast for 2010 there should be 1.173.300 robots worldwide in use. The estimated 380.000 robots in Europe are 32.4%. Under the assumption – according to the trend - 5.000 robots in Austria in 2010 we will have only 0.42% of the robots worldwide and 1.31% of the robots in Europe.

Result: The robot population in Europe in the next three years is, according to this statistic, a little bit slower growing than in the rest of the world. That's also true for Austria. Unfortunately there are currently no relevant statistical data available for mobile, intelligent robots.

Austria is quite good represented in the field of robotics. Companies work in all fields of industrial robots – but mostly as system integrators. There are only few of robot producers in Austria. Only 3 of these companies deal with mobile robots and none with humanoids. In contrast to this, Universities and research centres work in nearly all of the listed topics (industrial robots, mobile robots, software and humanoids). The research for industrial robots is mainly done in making robots more lightweight and faster to speed up manufacturing lines. A lot of work is also done in an enhancement of human machine interface. Future topics like humanoid robots and mobile robots like unmanned vehicles are currently almost handled at universities.

We have in Austria a lot of basic technologies available for future developments. These technologies are ready to be applied to the robotic research and applications in Austria. Examples are the industry oriented topics “Robotic Systems Engineering”, “Intelligent and distributed environment”, “Robot Assistants in Industrial environments”, “Autonomous transport” and “Components and miniaturised robots”. Currently there are only first steps to deal with these new topics. An example are the international very successful Austrian robotsoccer teams in Robocup as well as in FIRA.

According to EUROP (2006) and Kopacek, Gattringer (2008) the topic of “Robotic systems” is of interest for most of the companies and research institutions in Austria.

In this field primarily “Sensing and control” and “Real time control” and secondly “Robotic Systems Engineering”, “Intelligent and distributed environment”, “Flexible manufacturing concepts based on robot-robot cooperation” and “Clusters of robots with coordinated Movement”

“Components and miniaturised robots” could be a future research field for the industry as well as for research and University institutes. “Advanced behaviours” is more or less a theoretical oriented field for University institutes. The industry oriented topics “Robot Assistants in Industrial environments” and “Autonomous transport” are currently underrepresented and should be improved in the future.

Some topics of SRA are currently realised or in realisation e.g. “Sensing and Control” and “Real time control” in Austria mostly in some EC projects e.g. “Homerobots” and “Movement”. Research on “Cost Oriented” solutions is also in progress.

Niches for Austria in Robotics could be new topics - for example:

- “Cost Oriented” tool kits for robotized assembly and disassembly cells – according to the new research headline COA (Cost Oriented Automation ).
- Mobile intelligent robots for new applications e.g. humanitarian demining
- Cooperative, intelligent, mobile robot swarms in production
- “End of Life Management – EoL” of robots and robotised cells.
- Safety of mobile robots.

In Austria we are currently at the begin of research activities and industry involvement in “modern” robotics. First results and approaches are available mostly in niches. This trend has to be tremendous improved in the future.

## 5 References

European Robotics Platform (EUROP 2006): The Strategic Research Agenda – SRA. Brussels, 2006. (<http://www.robotics-platform.eu.com/>)

International Federation of Robotics (IFR, 2007): World Robotics 2007. IFR Statistical Department, Frankfurt, 2007.

Kopacek,P. (2005): Advances in Robotics. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2005, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, February 2005, Spinger Verlag S. 549 – 558.

Kopacek,P. and H.Gattringer (2008): Robotics in Austria, Potential Study. BMVIT – Unpublished.

Kopacek, P. (2009): Robots for Edutainment. Will be published in S.Nof: “Handbook of Automation”. Springer 2009.

## 6 Acknowledgment

This work was supported by the Austrian Ministry for “ Transportation, Innovation and Technology – BMVIT”; Contract: BMVIT, GZ 603.034/0045- III/15/2007.

# Robust Linear Confining of Complex Nonlinearities

Alexander Weinmann, OVE, 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 December 10, 2008

## Abstract

*A gradient- and Mikhailov-distance-based controller is used in the case of linearly confining the set of nonlinearities. A walk around a hard-limit uncertainty illustrates the applicability of the suggested method in a dialog-based version. The method is recommendable for practical systems in large-scale control engineering applications.*

**Keywords:** Gradient-based controller design, Mikhailov-distance as stability margin, linear overbounding of the nonlinear uncertainties

## 1 Introduction

In a former paper (*Weinmann, A., 2005*), the minimum distance of the Mikhailov plot, termed  $h_0^2$ , was defined and used as an index of stability and stability margin. (In order not to be confused by the sign of the scalar distance  $h_0$ , the squared distance  $h_0^2$  is always used.) To improve the stability degree, i.e., to reduce undue oscillation in the case of low-damped control systems, a gradient of the minimum distance with respect to the controller matrix is utilized.

Differing from *Weinmann, A., 2006*, and as a prerequisite, not only the minimum  $\frac{\partial(h_0^2)}{\partial\omega_0}$  is taken into consideration but also the near surrounding. The interdependence between  $h_0^2$  and a single element  $a_{ij}$  of the matrix  $\mathbf{A}_{cl} = \text{matrix}[a_{ij}]$  is considered; even if  $\frac{\partial(h_0^2)}{\partial\omega_0}$  is nonzero.

In the field of application-oriented problems there is frequent need in checking the dynamic behavior in the presence of several nonlinear uncertainties. Especially small nonlinearities arise very often. In such cases it might be necessary to investigate the gradient  $\frac{\partial h_0^2}{\partial \mathbf{K}}$  even in a point not equal to  $\min_{\omega} \frac{\partial h_0^2}{\partial \omega}$ . This is the reason for the setup of Eq.(3). The nonlinear uncertainty is overbounded by some linear  $\Delta a_{ij}$ , resulting from the maximum admissible nonlinear part in the admissible range of the corresponding state variable.

In *Kwatny, H.G., and Blankenship, G.L., 2000*, the problems are carried out in frequency-domain and from a more theoretic viewpoint: The controller is designed by stabilizing feedback linearizing methods and then a Lyapunov redesign is performed for a matched uncertainty. As a contrary, in this paper (1) the controller is gradient-based on the Mikhailov distance and (2) linear systems fencing in the nonlinearity guarantee the stability. Therefore, the validity in the hard-limit bounds must be checked by detailed simulation as usual in practical control engineering.

## 2 Gradient-Based Controller

For repetition, the Mikhailov distance  $h_0$  results from

$$h_0^2 = \det(\omega_0^2 \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_{cl}^2) \triangleq \det \mathbf{U} , \quad (1)$$

and  $\omega_0$  implicitly from

$$\text{tr}[\text{adj}(\omega_0^2 \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_{cl}^2)] = f_0 . \quad (2)$$

For  $f_0 = 0$  we have the minimum case (*Weinmann, A., 2005*).

We reuse

$$\frac{d(h_0^2)}{da_{ij}} = \frac{\partial(h_0^2)}{\partial \omega_0} \frac{d\omega_0}{da_{ij}} + \frac{\partial(h_0^2)}{\partial a_{ij}} . \quad (3)$$

The derivatives in Eq.(3) are

$$\frac{\partial(h_0^2)}{\partial \omega_0} = 2\omega_0 \text{tr} \text{adj} \mathbf{U} = 2\omega_0 (\det \mathbf{U}) \text{tr}[\mathbf{U}^{-1}] , \quad (4)$$

and

$$\frac{\partial(h_0^2)}{\partial \Delta a_{ij}} = \frac{\partial}{\partial \Delta a_{ij}} \det[\omega_0^2 \mathbf{I}_n + (\mathbf{A}_{cl} + \Delta a_{ij} \mathbf{E}_{ij})^2] \quad (5)$$

$$\doteq \frac{\partial}{\partial \Delta a_{ij}} \det[\omega_0^2 \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_{cl}^2 + \mathbf{A}_{cl} \mathbf{E}_{ij} \Delta a_{ij} + \mathbf{E}_{ij} \mathbf{A}_{cl} \Delta a_{ij}] \quad (6)$$

$$\frac{\partial(h_0^2)}{\partial a_{ij}} \stackrel{(12)}{=} \text{tr}[(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{E}_{ij} + \mathbf{E}_{ij} \mathbf{A}_{cl}) \text{adj} \mathbf{U}] = [\mathbf{A}_{cl} \text{adj} \mathbf{U} + (\text{adj} \mathbf{U}) \mathbf{A}_{cl}]_{ji} = \quad (7)$$

$$(\text{since } \mathbf{A}_{cl} \text{ and } \mathbf{U} \text{ commute}) = 2(\det \mathbf{U})(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-1})_{ji} . \quad (8)$$

Generalizing Eq.(8),

$$\frac{\partial(h_0^2)}{\partial \mathbf{A}_{cl}} = 2(\text{adj} \mathbf{U})^T \mathbf{A}_{cl}^T = 2(\det \mathbf{U}) \mathbf{U}^{-T} \mathbf{A}_{cl}^T . \quad (9)$$

Then, the total differential quotient (for the case that both  $h_0^2$  and  $\omega_0$  depend on  $\Delta a_{ij}$ ) is

$$\frac{d(h_0^2)}{da_{ij}} \stackrel{(3)(4)(30)(8)}{=} - \frac{2\omega_0(\det \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-1})[(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-1})_{ji}(\text{tr} \mathbf{U}^{-1}) - (\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-2})_{ji}]}{\omega_0[(\text{tr} \mathbf{U}^{-1})^2 - \text{tr}(\mathbf{U}^{-2})] + 2(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-1})_{ji} \det \mathbf{U}} \quad (10)$$

$$\frac{d(h_0^2)}{da_{ij}} = \frac{2 \det \mathbf{U}}{[(\text{tr} \mathbf{U}^{-1})^2 - \text{tr}(\mathbf{U}^{-2})]} [(\text{tr} \mathbf{U}^{-1})(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-2})_{ji} - (\text{tr} \mathbf{U}^{-2})(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-1})_{ji}] . \quad (11)$$

### 3 Implicit Interrelation $\omega_0$ and $\mathbf{A}_{cl}$

We utilize (*Brewer 1978, Weinmann 1991; 2008*)

$$\frac{\partial \det \mathbf{A}}{\partial e} = \text{tr} \left[ \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial e} \text{adj} \mathbf{A} \right] \quad (12)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}^{-1}}{\partial e} = -\mathbf{A}^{-1} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial e} \mathbf{A}^{-1} \quad (13)$$

$$\text{Kronecker matrix } \frac{\partial \mathbf{K}_y}{\partial K_{y,ij}} = \mathbf{E}_{ij} \triangleq \mathbf{e}_i \mathbf{e}_j^T \text{ with unit vector } \mathbf{e}_i \quad (14)$$

$$\text{tr}[\mathbf{M} \mathbf{E}_{ij}] = M_{ji} = (\mathbf{M}^T)_{ij} . \quad (15)$$

Eq.(2) is an implicit interrelation between  $\omega_0$  and  $\mathbf{A}_{cl}$  and, hence, between  $\Delta \omega_0$  and  $\Delta a_{ij}$ .

Continued from Eq.(2),

$$\text{tr} \text{adj} \mathbf{U} \triangleq \text{tr} \text{adj}(\omega_0^2 \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_{cl}^2) = f_0 \quad (16)$$

$$\text{and using } \text{adj} \mathbf{U} = \det \mathbf{U} \cdot \mathbf{U}^{-1} \quad (17)$$

$$\det(\omega_0^2 \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_{cl}^2) \text{tr}[(\omega_0^2 \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_{cl}^2)^{-1}] = (\det \mathbf{U})[\text{tr}(\mathbf{U}^{-1})] = f_0 . \quad (18)$$

$$\text{Replacing } \mathbf{U} := \mathbf{U} + \Delta \mathbf{U}, \text{ then} \quad (19)$$

$$\det(\mathbf{U} + \Delta \mathbf{U}) \cdot \text{tr}[(\mathbf{U} + \Delta \mathbf{U})^{-1}] = f_0, \quad (20)$$

$$\text{where } \Delta \mathbf{U} \triangleq 2\omega_0 \Delta \omega_0 \cdot \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_e \Delta a_{ij} \text{ and } \mathbf{A}_e \triangleq \mathbf{A}_{cl} \mathbf{E}_{ij} + \mathbf{E}_{ij} \mathbf{A}_{cl}, \quad (21)$$

$$\det(\mathbf{U} + \Delta \mathbf{U}) \cdot \text{tr}[\mathbf{U}^{-1} - \mathbf{U}^{-1} \cdot \Delta \mathbf{U} \cdot \mathbf{U}^{-1}] \doteq f_0 . \quad (22)$$

Using the Taylor expansion for the determinant for  $\Delta p$  small (*Weinmann, A., 2008*),

$$\det(\mathbf{U} + \mathbf{V} \Delta p) \doteq \det \mathbf{U} + \frac{\partial \det(\mathbf{U} + \mathbf{V} \Delta p)}{\partial \Delta p} \Delta p \doteq \det \mathbf{U} + \text{tr}[\mathbf{V} \text{adj} \mathbf{U}] \Delta p \quad (23)$$

$$\doteq \det \mathbf{U} + \text{tr}[\mathbf{V} \mathbf{U}^{-1}] \cdot \det \mathbf{U} \cdot \Delta p, \quad (24)$$

one finds

$$\begin{aligned} & \{\det \mathbf{U} + \text{tr}[2\omega_0 \mathbf{I}_n(\text{adj} \mathbf{U})\Delta\omega_0 + \text{tr}(\mathbf{A}_e \text{adj} \mathbf{U})\Delta a_{ij}]\} \\ & \quad \times [\text{tr}(\mathbf{U}^{-1}) - \text{tr}\{\mathbf{U}^{-2}(2\omega_0 \Delta\omega_0 \mathbf{I}_n + \mathbf{A}_e \Delta a_{ij})\}] = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} & 2\omega_0 \text{tr}(\text{adj} \mathbf{U}) \cdot \Delta\omega_0 \cdot (\text{tr} \mathbf{U}^{-1}) + \text{tr}(\mathbf{A}_e \text{adj} \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-1})\Delta a_{ij} \\ & \quad - (\det \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-2})2\omega_0 \Delta\omega_0 - (\det \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-2} \mathbf{A}_e)\Delta a_{ij} = 0 \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} & 2\omega_0 [(\text{tr} \text{adj} \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-1}) - (\det \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-2})]\Delta\omega_0 \\ & \quad + [\text{tr}(\mathbf{A}_e \text{adj} \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-1}) - (\det \mathbf{U})\{\text{tr}[(\mathbf{U}^{-2} \mathbf{A}_e)]\}]\Delta a_{ij} = 0 \end{aligned} \quad (27)$$

$$\frac{\Delta\omega_0}{\Delta a_{ij}} \rightarrow \frac{d\omega_0}{da_{ij}} = -\frac{\text{tr}(\mathbf{A}_e \text{adj} \mathbf{U}) \cdot \text{tr}[\mathbf{U}^{-1}] - (\det \mathbf{U})\text{tr}(\mathbf{U}^{-2} \mathbf{A}_e)}{2\omega_0(\text{tr} \text{adj} \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-1}) - (\det \mathbf{U})(\text{tr} \mathbf{U}^{-2})} \quad (28)$$

$$= -\frac{(\text{tr}[\mathbf{A}_e \mathbf{U}^{-1}])(\text{tr} \mathbf{U}^{-1}) - \text{tr}(\mathbf{A}_e \mathbf{U}^{-2})}{2\omega_0[(\text{tr} \mathbf{U}^{-1})^2 - (\text{tr} \mathbf{U}^{-2})]} \quad (29)$$

$$= -\frac{(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-1})_{ji}(f_0/\det \mathbf{U}) - (\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-2})_{ji}}{\omega_0[(f_0/\det \mathbf{U})^2 - (\text{tr} \mathbf{U}^{-2})]} . \quad (30)$$

In general and because  $\mathbf{A}$  and  $\mathbf{U}$  commute,

$$\frac{\partial\omega_0}{\partial \mathbf{A}_{cl}} = -\frac{(\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-1})^T (\text{tr} \mathbf{U}^{-1}) - (\mathbf{A}_{cl} \mathbf{U}^{-2})^T}{\omega_0[(\text{tr} \mathbf{U}^{-1})^2 - (\text{tr} \mathbf{U}^{-2})]} \quad (31)$$

$$= -\frac{[(f_0/\det \mathbf{U})\mathbf{U}^{-T} - \mathbf{U}^{-2T}]\mathbf{A}_{cl}^T}{\omega_0[(f_0/\det \mathbf{U})^2 - (\text{tr} \mathbf{U}^{-2})]} . \quad (32)$$

As long as Eq.(2) is satisfied, i.e.,  $\omega_0$  is precisely the frequency of the minimum  $h_0^2$ , one has  $\text{tr}[\mathbf{U}^{-1}] = 0$  and the corresponding expressions can be omitted in Eq.(11), and in Eqs.(30) and (32) as well. Then, the result is equivalent to Eq.(70) in the Appendix of *Weinmann, A., 2006*

$$\frac{\partial\omega_0}{\partial \Delta \mathbf{A}_{cl}} = -\frac{\mathbf{U}^{-2T} \mathbf{A}_{cl}^T}{\omega_0 \text{tr}[\mathbf{U}^{-2}]} . \quad (33)$$

## 4 Nonlinear Uncertainty

As a nonlinear uncertainty we select a special case of an additive term  $\alpha_{ij}x_j^3$  in the  $i$ th state equation  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u$  and we restrict to only a single one. In general, we would have to extend  $\mathbf{A}$  to  $\mathbf{A} + \sum_{i=1}^{i=f_1}, \sum_{j=1}^{j=f_2} \alpha_{ij} \mathbf{E}_{ij} x_i^3$ . The nonlinearity can be set up in a manifold of different opportunities.

For  $f$  nonlinearities, one has to check the cases (1) of no nonlinearity, (2)  $\binom{n}{1}$  single nonlinearities, (3)  $\binom{n}{2}$  for two nonlinearities present, up to (n)  $\binom{n}{n}$  for  $n$  nonlinearities present. Summing up leads to  $1 + \sum_{i=1}^f \binom{f}{i} = 1 + \sum_{i=1}^f \frac{f!}{i!(f-i)!} = 2^f$ . This equals the sum of events of two cases (no nonlinearity and full nonlinearity) and  $f$  different nonlinearities.

Confining the nonlinearity  $\alpha_{0ij}x_j^3$  by a linear expression leads to a replacement of  $\alpha_{0ij}x_j^3$  by 0 or  $\Delta a_{ij}x_j$ . Hence, the linear replacement factor is  $\alpha_{0ij}x_{j_o}^2 = \Delta a_{ij}$ . The condition is that  $x_j$  must not exceed  $x_{j_o}$  in any case of motion (Föllinger, O., 1993).

The confining restrictions are illustrated in Fig. 1 for the assumptions of additional term  $\alpha x_1^3$  in the equation for  $\dot{x}_5$  for  $0 < \alpha < \alpha_o$  and  $|x_1| < x_{1o}$ .

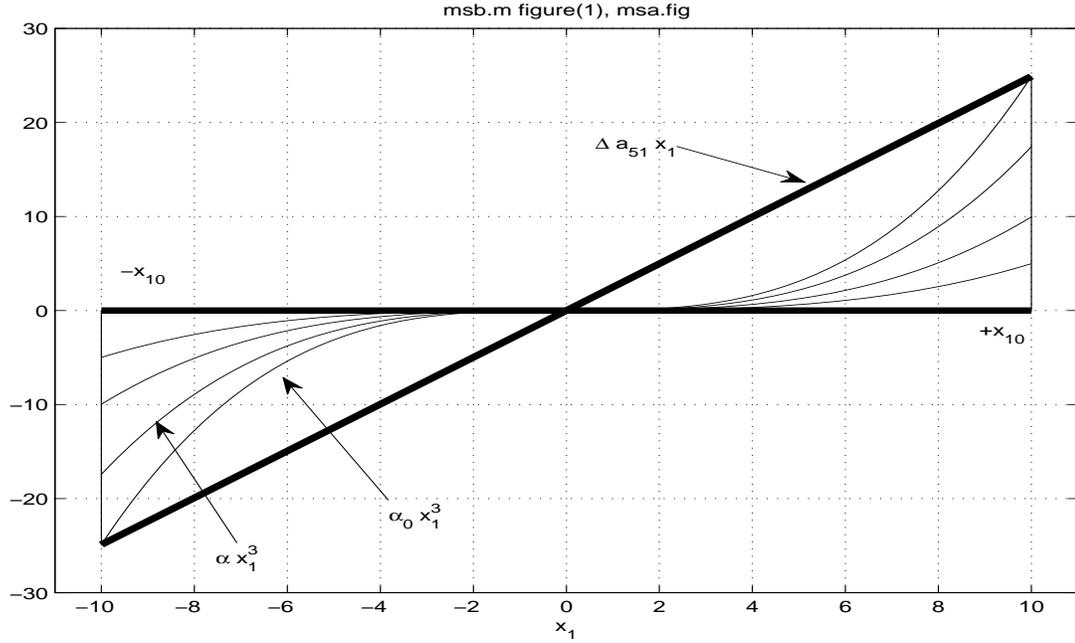


Figure 1: Confining a nonlinearity of typus  $x_1^3$  by linear bounds

## 5 Example. Sixth-Order System

The set-up data are taken from a former paper (Weinmann, A., 2006,) and extended. The controller is a full-scale state controller with  $\mathbf{C} = \mathbf{I}_6$ . The output results from a different  $\mathbf{C} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 900)$ .

For a dynamic system  $\mathbf{A}_{cl}$

-1.2000	$a_{\{12\}}$	0	0	0	0
$a_{\{21\}}$	0	0	0	0	0
0	0.1745	-0.8000	-3.8210	0	0
0	0	3.8210	0	0	0
0	0	0	0.2617	-0.4000	-1.9105
0	0	0	0	1.9105	0

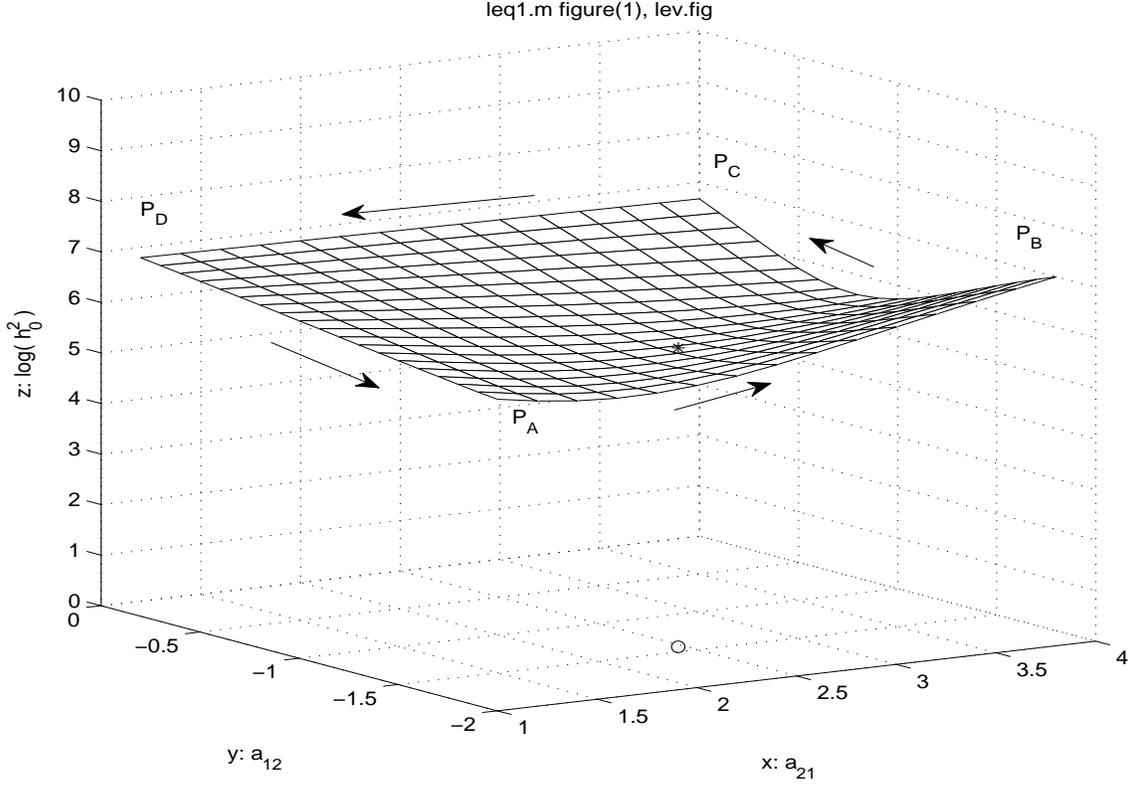


Figure 2: Stability margin versus uncertain parameters with logarithmic scale (Optimum point  $*$ , corresponding basis point  $o$ )

and  $\mathbf{B} = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T$ , the parameters  $a_{12}$  and  $a_{21}$  are uncertain in the following wide range

$$a_{12} = -2 + 0.1ii \quad ii = \{1, 19\}, \quad a_{12} = [-1.9 \quad -0.1] \quad (34)$$

$$a_{21} = 1 + 0.2jj \quad jj = \{1, 15\}, \quad a_{21} = [1.2 \quad 4] . \quad (35)$$

The plane  $a_{12}, a_{21} \mapsto \log h_0^2$  is plotted in Fig. 2. The (most dangerous) minimum of  $h_0^2$  is obtained for  $a_{12} = 1.431$  and  $a_{21} = 2.473$ . For  $ii = 20$  the stability border would be reached. The system is weakly damped.

The contour plot is depicted in Fig. 3. The plane is rather banana-shaped.

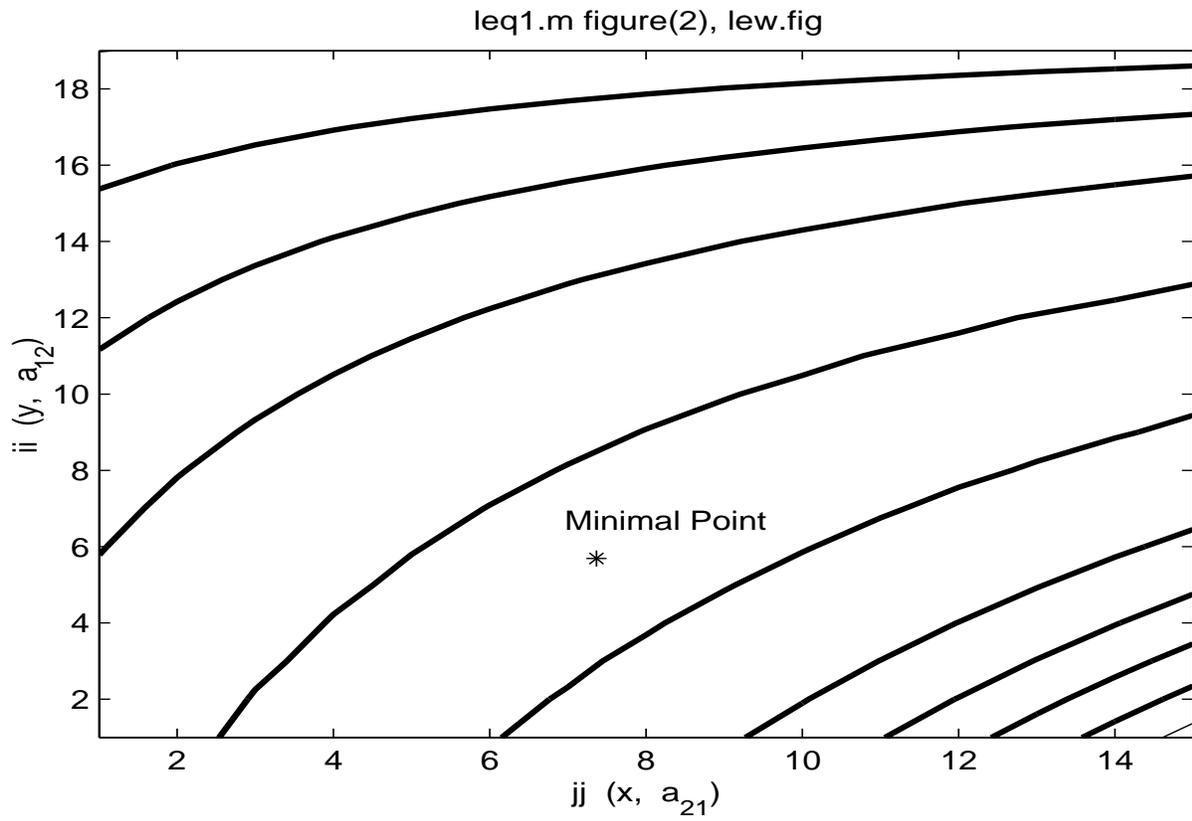


Figure 3: Contour plot of the stability margin with linear scale

The dissemination of the minimum frequency  $\omega_0$  versus the uncertain parameters is given in Fig. 4.

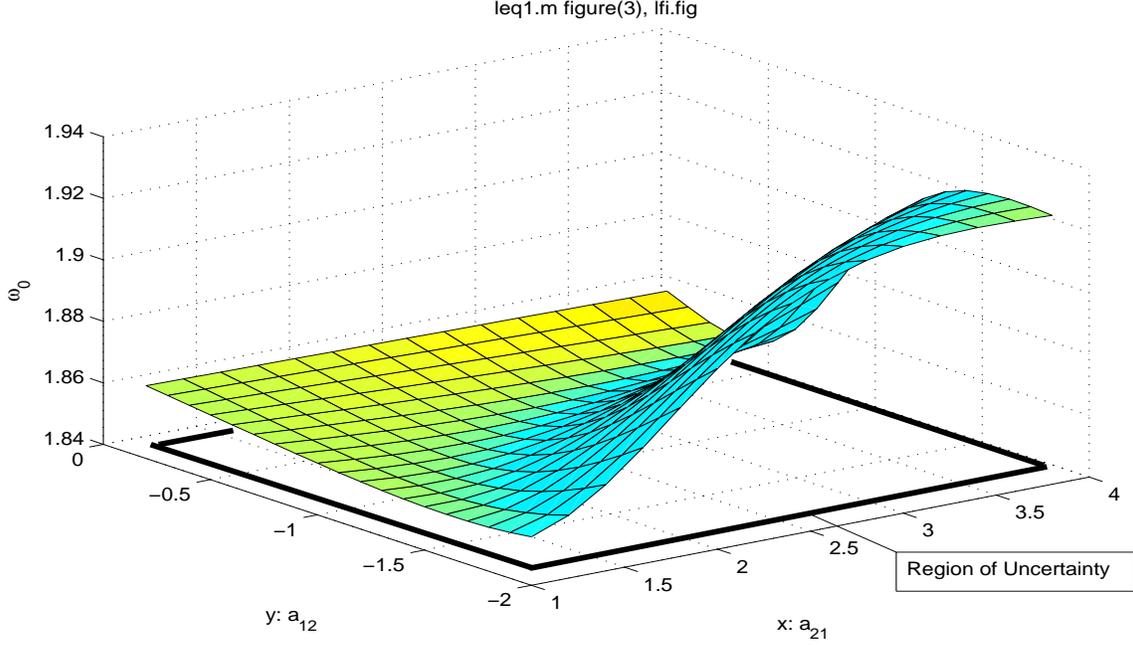


Figure 4: Minimum frequency versus uncertain parameters

Increasing the minimum stability margin following Eq. (17) in *Weinmann, A., 2005*, with gain 0.009 results in  $\mathbf{K} := \mathbf{K} + 0.009 \frac{\partial(h_0^2)}{\partial \mathbf{K}_y}$  where  $\mathbf{C} = \mathbf{I}_6$  and

$$\frac{\partial(h_0^2)}{\partial \mathbf{K}_y} = 2[\mathbf{C}\mathbf{A}_{cl}(\text{adj}\mathbf{U})\mathbf{B}]^T. \quad (36)$$

The one-step increment in the controller matrix improves the stability margin from 367 to 11550. The  $\log(h_0^2)$ -plane after having changed  $\mathbf{K}$  is presented in Fig. 5. The gradient at  $[h_0^2]_{\min}$  could also be replaced by the local minimum at the edges, by individual choice of the designer.

The result is illustrated by two step responses in Fig. 6, i.e., for the special point of uncertainty inside the rectangle where  $h_0^2$  is minimum, before and after executing the change in the controller, in that point where the benefit is best.

The  $h_0^2$ -profile walking around the uncertainty in the original state from  $P_A$  via  $P_B$ ,  $P_C$  to  $P_D$  is depicted in the lowermost characteristic in Fig. 7. Repetition after one gradient step from  $P_E$  via  $P_F$ ,  $P_G$  to  $P_H$  is depicted in the same figure in the uppermost characteristic. In between, the profiles for interpolating assumptions of  $\mathbf{K}$  (corresponding to Fig. 8) are given.

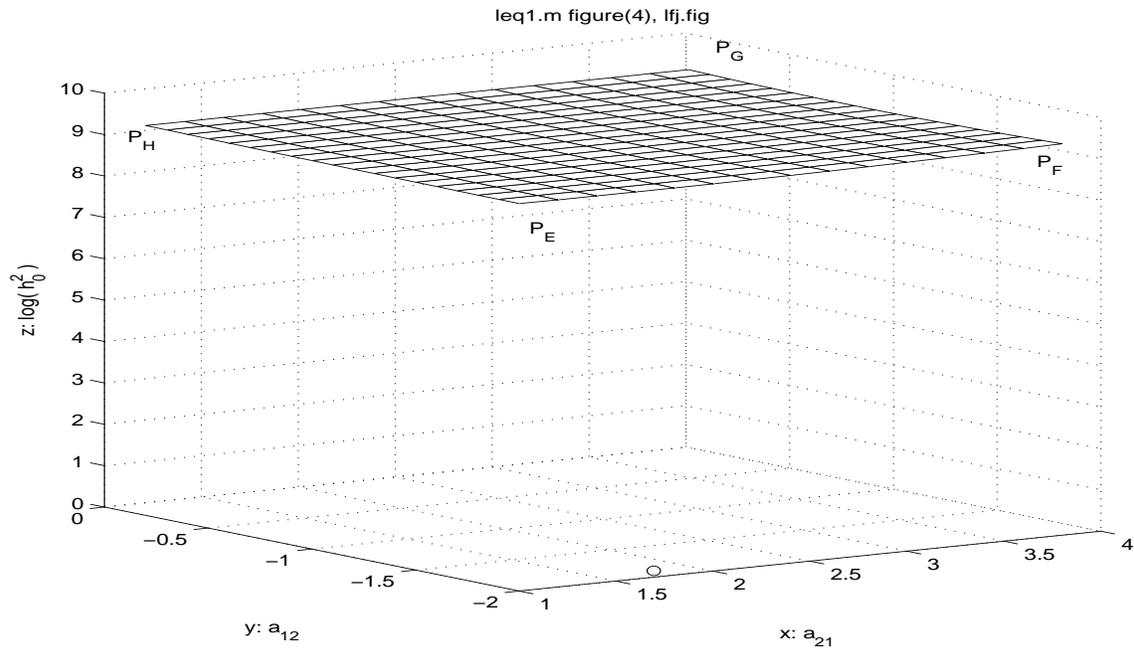


Figure 5: Stability margin versus uncertain parameters after having changed the controller matrix once

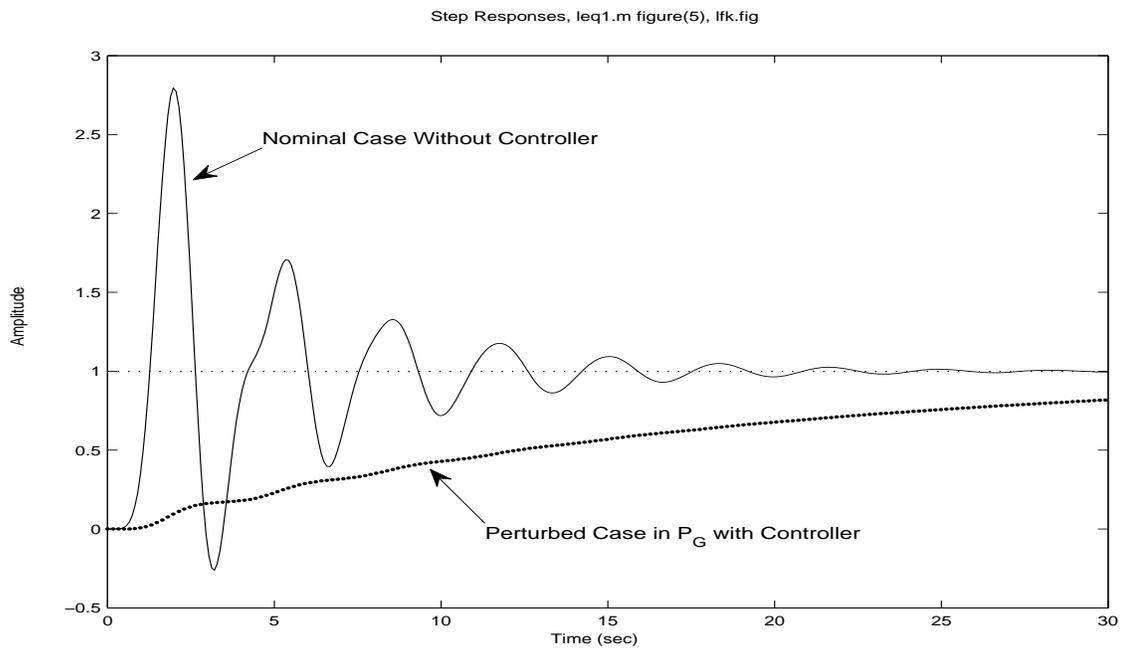


Figure 6: Step response improvement in point  $[h_o^2]_{\min}$  of oscillating plant and controlled plant perturbed at  $P_G$ ,  $a_{21} = 4$ ,  $a_{12} = -0.1$

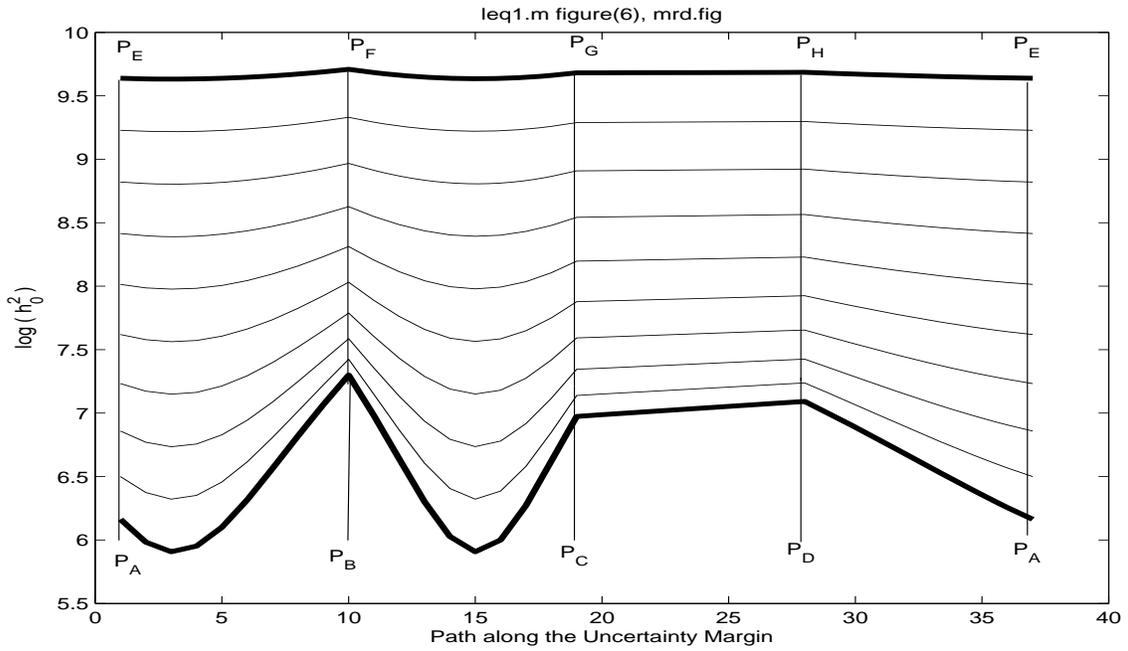


Figure 7: Minimum distance  $\log h_0^2$  while walking around the uncertainty with the original and the final controller

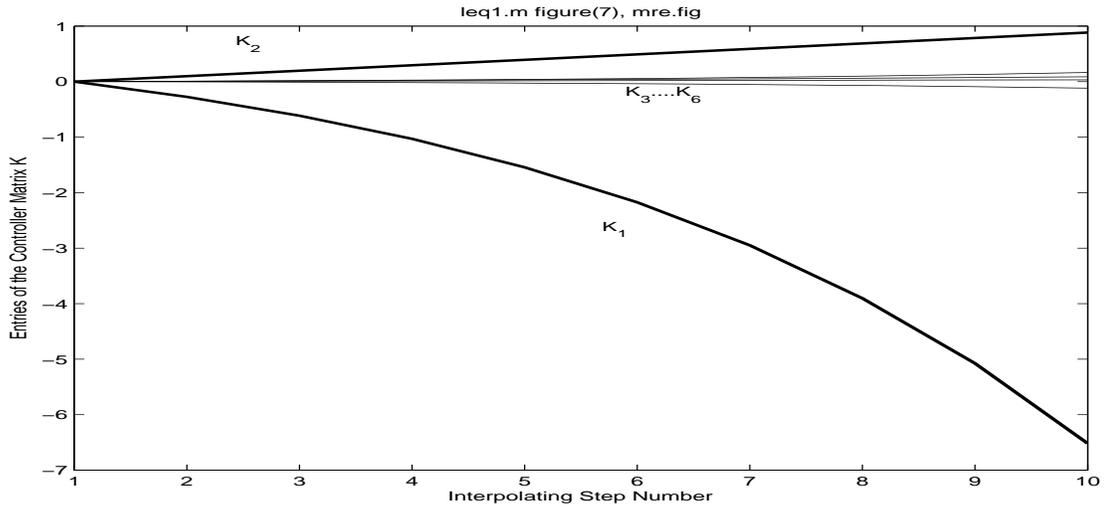


Figure 8: The six entries of the controller matrix  $\mathbf{K}$ ; from the initial setup  $\mathbf{K} = \mathbf{0}$  to the final one  $\mathbf{K}_1$  after the entire gradient step (and some interpolating steps)

In what follows, the step responses on the walk along the four edges are compared. The amplitude is scaled per-unit for better comparison. Table 1 is an overview of the correspondences.

Table 1: Comparing the step responses for the walks around the uncertainty

$\mathbf{K} = \mathbf{0}$	$\mathbf{K} = \mathbf{K}_1$ for linear uncertainty, only
Fig. 9 from $P_A$ to $P_B$	Fig. 10 from $P_E$ to $P_F$
Fig. 11 from $P_B$ to $P_C$	Fig. 12 from $P_F$ to $P_G$
Fig. 13 from $P_C$ to $P_D$	Fig. 14 from $P_G$ to $P_H$
Fig. 15 from $P_D$ to $P_A$	Fig. 16 from $P_H$ to $P_E$
$\mathbf{K} = \mathbf{0}$	$\mathbf{K} = \mathbf{K}_{1n}$ including the nonlinear uncertainty bound
Fig. 17 from $P_A$ to $P_B$	Fig. 18 from $P_E$ to $P_F$
Fig. 19 from $P_B$ to $P_C$	Fig. 20 from $P_F$ to $P_G$
Fig. 21 from $P_C$ to $P_D$	Fig. 22 from $P_G$ to $P_H$
Fig. 23 from $P_D$ to $P_A$	Fig. 24 from $P_H$ to $P_E$

The nonlinear uncertainty setup is  $\alpha_{51}x_1^3$  in the equation for  $\dot{x}_5(t)$  with  $\alpha_{51} = 24.9 \cdot 10^{-3}$  under  $|x| < x_{1o} = 10$ . Hence,  $\Delta a_{51} = 2.49$ . Only a 0.05 step is applied in the nonlinear case.

The result is  $K_1 = (-5.5331 \quad -2.1249 \quad -0.3527 \quad -0.0307 \quad -0.0586 \quad 0.4648)$ . Note that ten intermediate steps in Fig. 8 of one tenth step size yield slightly different values than a one single step.

Including the linear confining of the nonlinearity, the result for the corresponding linear controller is  $K_{1n} = (-5.5331 \quad -2.1249 \quad -0.3527 \quad -0.0307 \quad -0.0586 \quad 0.4648)$ .

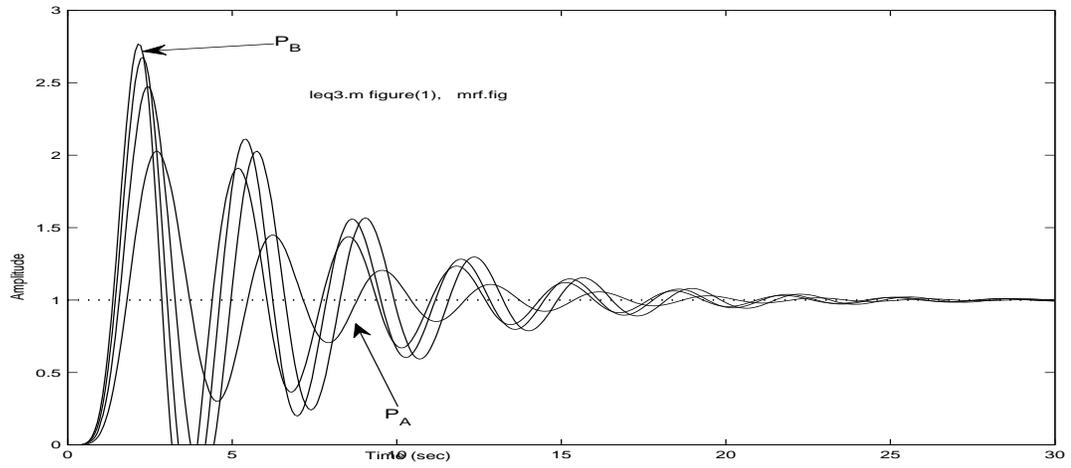


Figure 9: Step responses walking from  $P_A$  to  $P_B$

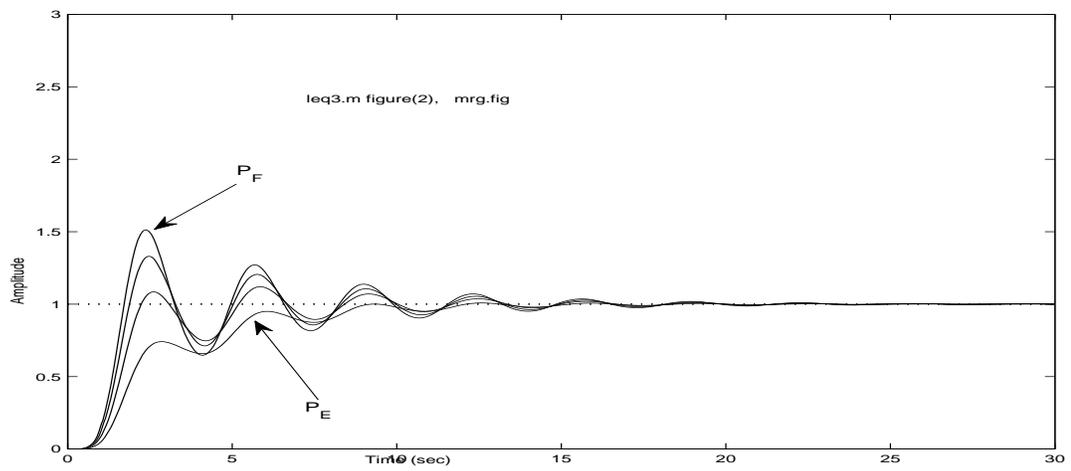


Figure 10: Step responses walking from  $P_E$  to  $P_F$

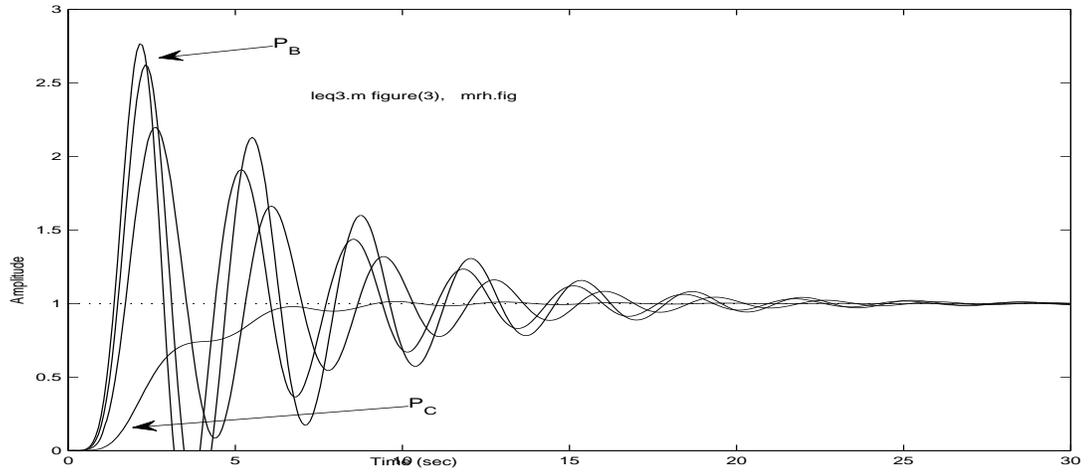


Figure 11: Step responses walking from  $P_B$  to  $P_C$

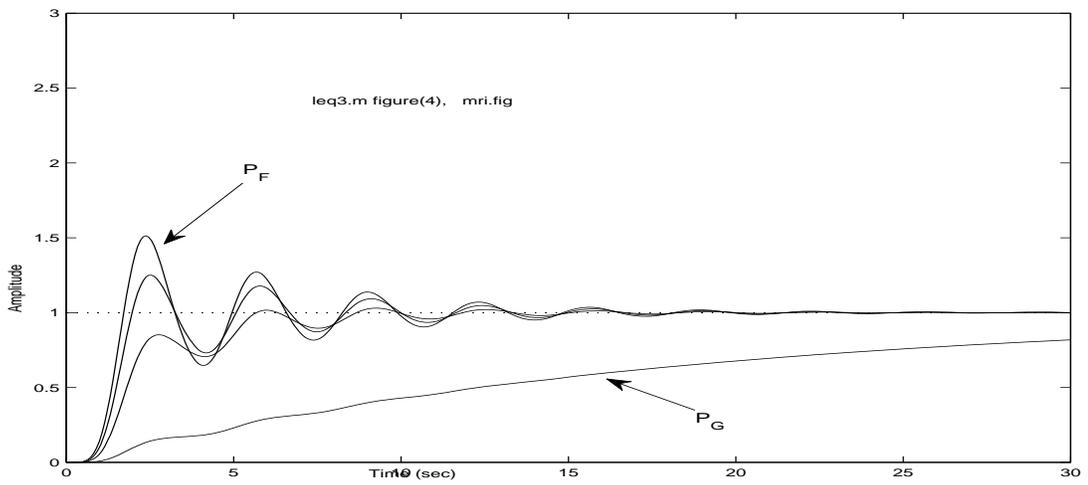


Figure 12: Step responses walking from  $P_F$  to  $P_G$

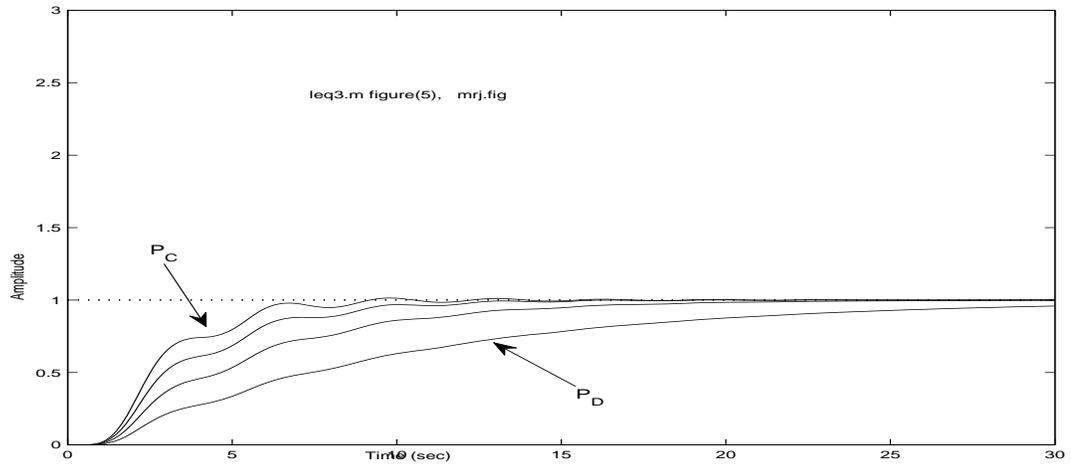


Figure 13: Step responses walking from  $P_C$  to  $P_D$

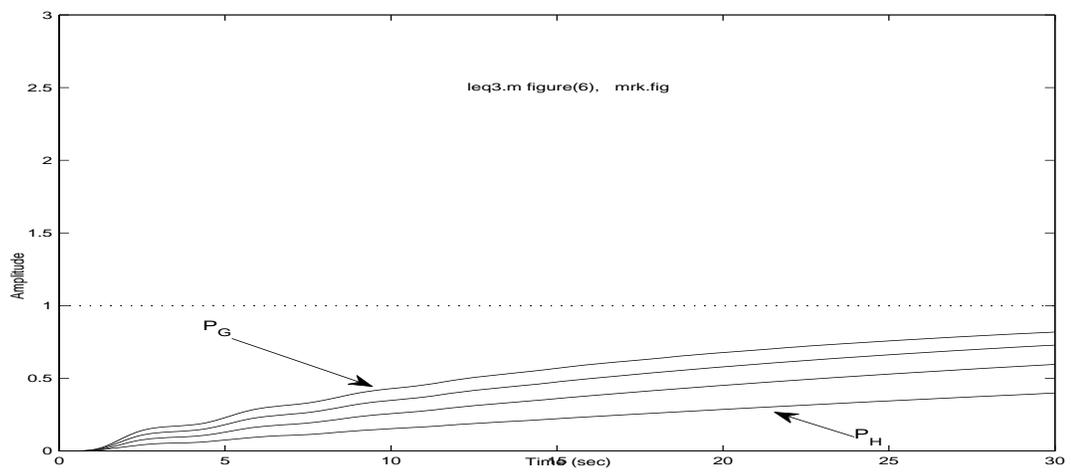


Figure 14: Step responses walking from  $P_G$  to  $P_H$

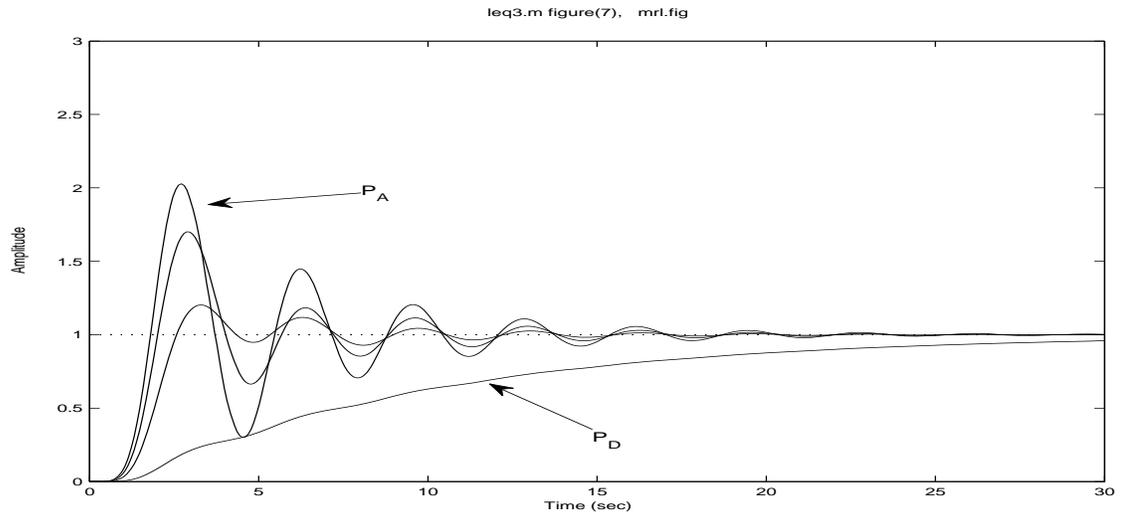


Figure 15: Step responses walking from  $P_D$  to  $P_A$

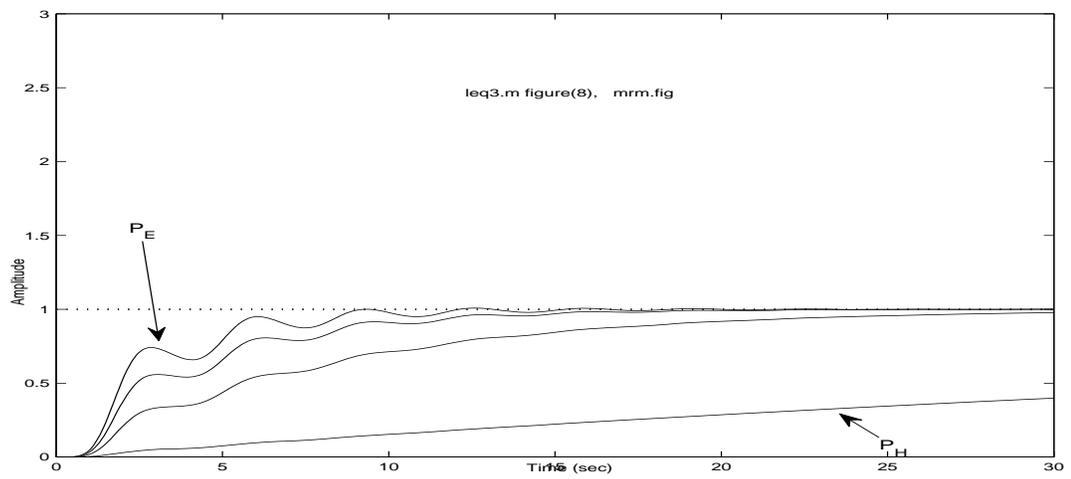


Figure 16: Step responses walking from  $P_H$  to  $P_E$

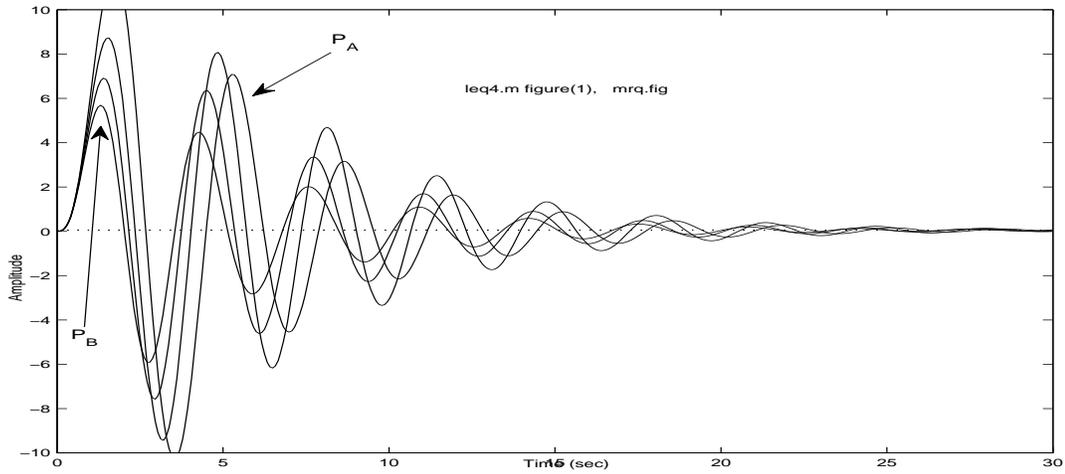


Figure 17: Step responses walking from  $P_A$  to  $P_B$

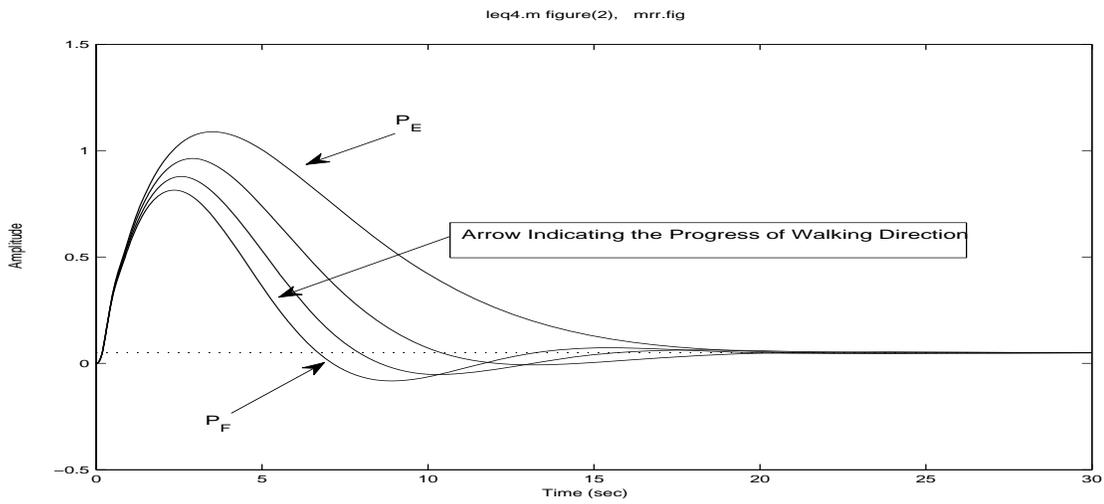


Figure 18: Step responses walking from  $P_E$  to  $P_F$

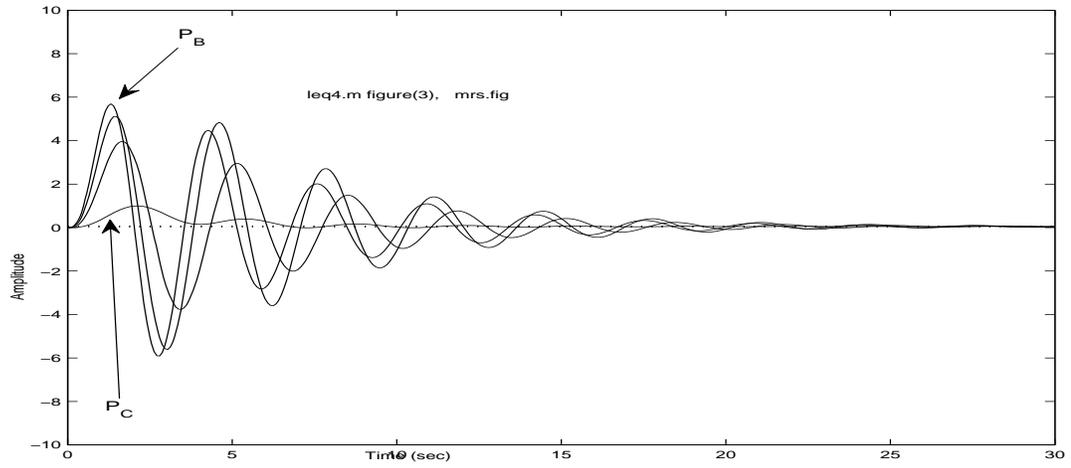


Figure 19: Step responses walking from  $P_B$  to  $P_C$

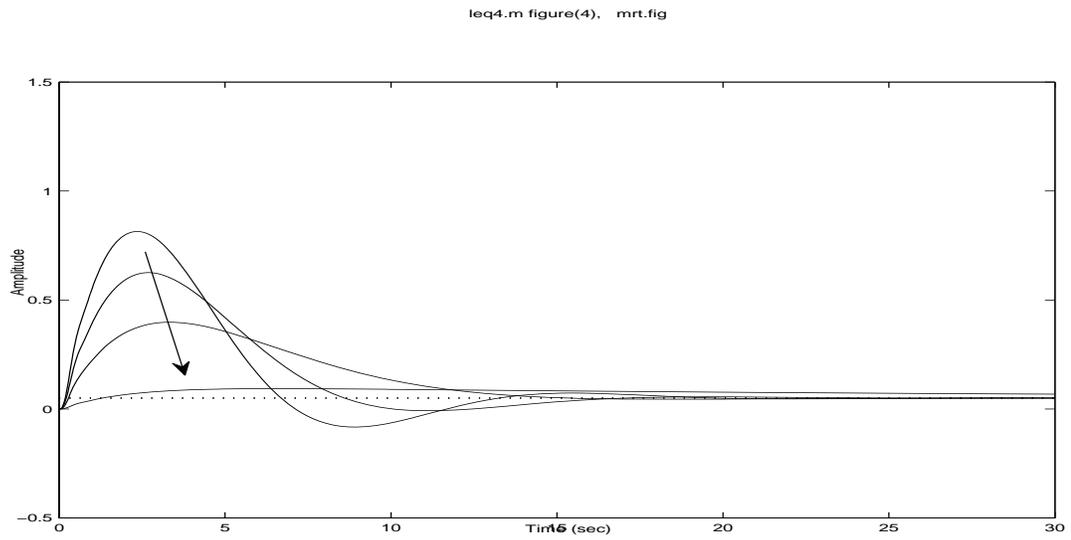


Figure 20: Step responses walking from  $P_F$  to  $P_G$

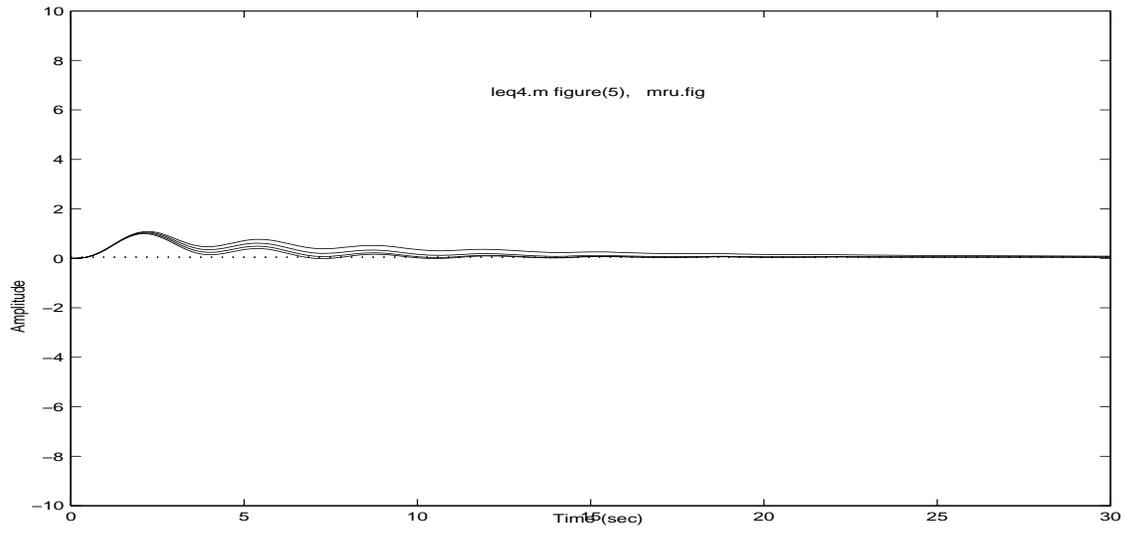


Figure 21: Step responses walking from  $P_C$  to  $P_D$

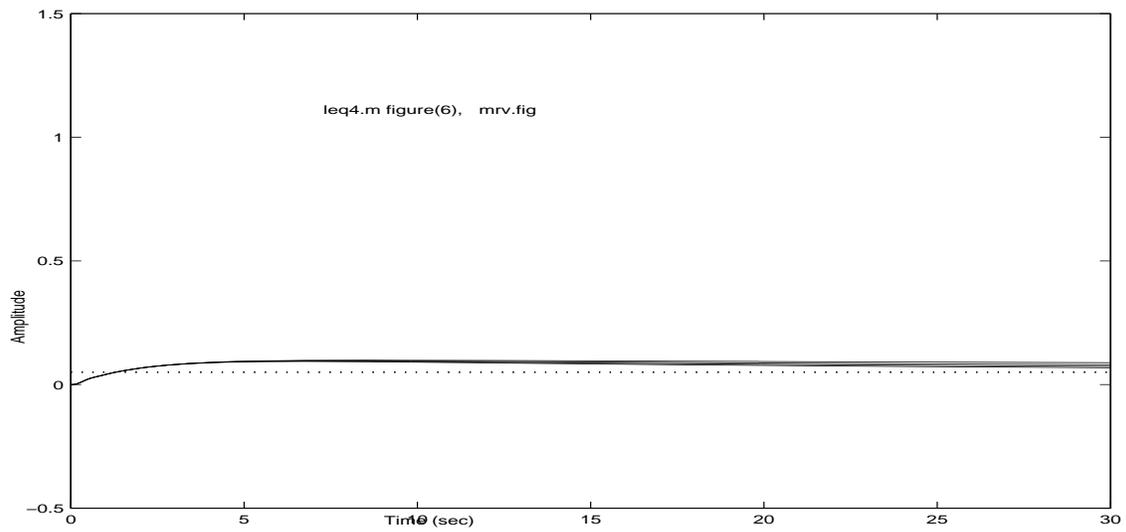


Figure 22: Step responses walking from  $P_G$  to  $P_H$

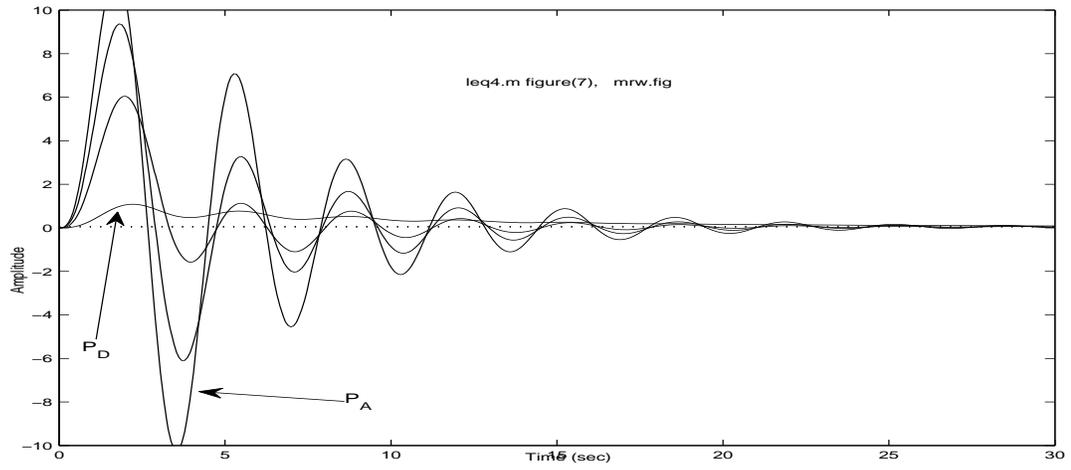


Figure 23: Step responses walking from  $P_D$  to  $P_A$

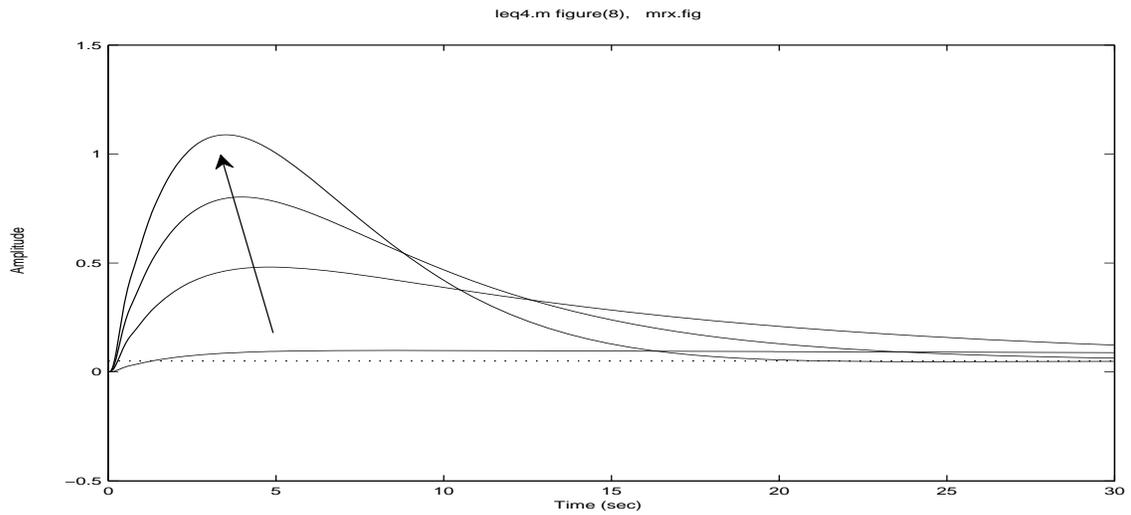


Figure 24: Step responses walking from  $P_H$  to  $P_E$

## 6 Conclusion

The Mikhailow distance and gradient-based method for the controller design method as published previously is applied to a wide range of rectangular uncertainty. In addition, nonlinear uncertainties are linearly bounded and investigated correspondingly as a case study. An example with a very weakly damped plant shows the good applicability.

### References

- Föllinger, O., 1993, Nichtlineare Regelungen II, München, Wien: Oldebourg-Verlag*
- Kwatny, H.G., and Blankenship, G.L., 2000, Nonlinear Control and Analytical Mechanics. A Computational Approach. Boston, Basel, Berlin: Birkhäuser-Verlag*
- Weinmann, A., 2005, A dialog-oriented and gradient-based stability margin in uncertain systems, Cybernetics and Systems: An International Journal 36, Number 7, pp.641-666*
- Weinmann, A., 2006, Stability margin and spherical uncertainty, Cybernetics and Systems: An International Journal 37, Number 7, pp. 685-705*
- Weinmann, A., 2008, Performance gradients in automatic control analysis, a catalogue of correspondences. Int. J. Automation Austria 16, pp. 1-59. See <http://www.acin.tuwien.ac.at/de/Publikationen/Zeitschriften/IJAA>*
- Weinmann, A., 2008a, The admissible spherical uncertainty for dynamic systems in state space, Cybernetics and Systems: An International Journal 39, No 5, pp. 480-501*

**Streiflichter**  
**vom**  
**17. IFAC Weltkongress**  
**6 – 11 Juli 2008**  
**COEX, Seoul, Korea**

R.Genser, M.W.Han, P.Kopacek. R. Neck und N. Weiss

Der 17. Weltkongress der International Federation of Automatic Control (IFAC) fand vom 6. bis 11. Juli 2008 in Seoul, Korea statt. Dieser Kongress, der im dreijährigen Abstand abgehalten wird, ist damit nach mittlerweile zwei europäischen Destinationen (Barcelona, Prag) nach Peking 1999 wieder in ein asiatisches Land zurückgekehrt. Diesmal wurden sowohl bei der Anmeldung wie bei der Anzahl der vorgetragenen Beiträge alle bisherigen Teilnahmerekorde gebrochen: Obwohl nur etwa 2/3 der eingereichten Beiträge angenommen wurden, beinhaltete das Programm mehr als 3.700 Vorträge.

Naturgemäß wird die Zusammensetzung der Teilnehmernationalitäten von geographischen Gesichtspunkten geprägt. Nach einer recht dominanten Stellung mitteleuropäischer Forschungsnationen beim Weltkongress in Prag (insbesondere einem sehr hohen Anteil von Beiträgen aus Deutschland), waren beim diesjährigen Kongress erwartungsgemäß die Gastgeberstaaten Südkorea sowie Japan sehr stark vertreten.

Mit Abstand die am häufigsten vertretene Nation war die Volksrepublik China mit 486 Vorträgen. Von den europäischen Ländern liegt Frankreich mit 316 Vorträgen vor Deutschland, Italien und dem Vereinigten Königreich von Großbritannien und Nordirland an der Spitze. Von den asiatischen Ländern war die Beteiligung besonders im Gastland Korea und in Japan bemerkenswert hoch (jeweils über 250 Vorträge), während auf die Vereinigten Staaten von Amerika als das forschungstärkste Land nur 243 Vorträge entfielen.

Wie heutzutage schon üblich sind die Beiträge auf einer Tagungs-CD und nur für die Kurzfassungen, Plenarvorträge und Milestone-Berichte gab es eine gedruckte Version. Darüber hinaus sind alle Proceedings der IFAC Technical Meetings im Internet über [www.ifac-papersonline.net](http://www.ifac-papersonline.net) zugänglich.

Österreich war mit vierzehn Beiträgen vertreten. Prof. Reinhard Neck von der Universität Klagenfurt präsentierte das ausgewählte Survey-Paper „The Contribution of Control Theory to the Analysis of Economic Policy“. Den Preis für das beste anwendungsorientierte Paper erhielt Dr. Martin Kozek von der TU Wien mit den Mitautoren für „Vibration Damping of a Flexible Car Body Structure Using Piezo-Stack Actuators“, eine Entwicklung für die neuen Fahrzeuge der Wiener U-Bahn.

Neben den von den Autoren eingereichten Papieren waren besonders die insgesamt neun Plenarvorträge, die auf Einladung des Programmkomitees erfolgten, für eine breitere Öffentlichkeit von großem Interesse. Unter anderem sprach R. Brockett über die Reduktion von Komplexität in Regelungs- und Steuerungssystemen – ein Thema, das insbesondere angesichts der in den letzten Jahren intensivierten Forschung zur Entwicklung von Methoden der nichtlinearen Steuerung von großer Bedeutung ist. Infolge von Kosten- und Verlässlichkeitsüberlegungen wird oft gefordert, Näherungsmethoden für nichtlineare Systeme einzusetzen, wobei die Beziehung zwischen den Kosten der Implementierung eines Regelungs- und Steuerungssystems und der Qualität der Ergebnisse bisher noch nicht hinreichend untersucht worden ist. Brockett hat in seinem Übersichtsvortrag neben einem

Überblick über die Entwicklung nichtlinearer Steuerungssysteme insbesondere einen mathematischen Ansatz zur Lösung des Problems der gleichzeitigen Optimierung der Implementierungskosten und der Leistung des Systems vorgestellt.

Ein weiterer, ebenfalls sehr aufschlussreicher Übersichtsvortrag wurde von L. Ljung zum Thema der Systemidentifikation gehalten. Bei Systemidentifikation geht es darum, mathematische Modelle dynamischer Systeme aus beobachteten Input-Output-Daten zu konstruieren. Dieses Gebiet ist als Brücke zwischen der mathematischen Welt der Regelungs- und Steuerungstheorie und der Modellierung einerseits und der realen Welt der Anwendungen andererseits von größter Bedeutung und daher für alle erfolgreichen Anwendungen unerlässlich. Ljung gab sowohl einen Überblick über die wissenschaftlichen Grundlagen und Ergebnisse der Theorie der Systemidentifikation und illustrierte anhand von Beispielen die praktische Seite, wie ein derartiges reales Problem der Identifikation eines Systems in Angriff genommen werden kann. Interessant ist dabei nicht zuletzt die Tatsache, dass hier nur eine geringe Anzahl von grundlegenden Prinzipien erforderlich ist, um erfolgreiche Systembeschreibungen zu entwickeln, wobei etwa auf die Fragen der Komplexität des Modells, des Informationsgehalts der Daten und einer effektiven Validierung des Modells Rücksicht zu nehmen ist.

Einen besonders für sozialwissenschaftliche, aber natürlich auch für ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen besonders attraktiven Ansatz stellte Francis J. Doyle III vor, und zwar die Anwendung von Methoden der robusten Steuerung in der Biologie. Obwohl die Regelungs- und Steuerungstheorie primär in den technischen Wissenschaften ihren Ursprung hat, sind natürliche (biologische) Systeme sehr gut geeignet, Optimierungsansätze und steuerungstheoretische Überlegungen nutzbar zu machen. Regelkreise können sowohl auf der Ebene der Gene, der Proteine, der Zellen und ganzer biologischer Systeme festgestellt und für Anwendungen nutzbar gemacht werden. Im Fall von stochastischen Störungen wird hier eine mehrstufige hierarchische Steuerung oft eingesetzt, um eine robuste Leistung des Systems zu bewirken. Derartige Störungen entstehen aus intrinsischen und extrinsischen Ursachen. Die Notwendigkeit der Robustheit und der Insensitivität gegenüber bestimmten Steuerungen wurde in dem Vortrag von Doyle anhand zahlreicher biologischer Beispiele illustriert, wobei auch auf medizinische Anwendungen (Alzheimer, Diabetes) eingegangen wurde. Interessant ist dabei unter anderem die Einsicht, dass die Steuerung auf der Ebene der Zellen zellulärer Netze von jener auf der Ebene innerhalb einer Zelle grundlegend verschieden sein kann.

R. Neck hielt einen Übersichtsvortrag zum Thema „Beiträge der Kontrolltheorie (Regelungs- und Steuerungstheorie) zur Analyse von Fragen der Wirtschaftspolitik“. Dabei wurde insbesondere die Frage erörtert, wie die Regelungs- und Steuerungstheorie in den Wirtschaftswissenschaften rezipiert und angewendet wurde. Interessant ist dabei die Tatsache, dass es kaum einen Bereich der Wirtschaftswissenschaften gibt, in dem derartig viele Nobelpreise verliehen wurden wie in jenem, in dem kontrolltheoretische Anwendungen auf wirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen eine Rolle spielen. Bereits sehr früh, in den 1950er und 1960er Jahren, wurden die damaligen Methoden der Ingenieurwissenschaften auf einfache ökonomische Modelle. Der Durchbruch erfolgte mit der Entwicklung der dynamischen Optimierung, insbesondere des Pontryagin'schen Maximumprinzips und der dynamischen Programmierung von Bellmann. Anwendungen der stochastischen und der dezentralisierten Kontrolltheorie wurden ebenso behandelt wie ein Ausblick auf weitere Entwicklungen im Zwischenbereich zwischen der Regelungs- und Steuerungstheorie einerseits und den Wirtschaftswissenschaften andererseits, wobei als besonders erfolgversprechend die Theorie der robusten Steuerung sowie die dynamischen Spiele – ein

aus dem ingenieurwissenschaftlichen Bereich übernommenes Gebiet der angewandten Mathematik – hervorgehoben wurden.

Neben den Vorträgen entsprechend dem Mainstream wie Fuzzy-Sets und neuronale Netze und den schon üblichen Themenkreisen wurden die Möglichkeiten der fraktalen Differentiation aufgezeigt um Probleme mit Intervallen zu lösen. Anwendungsgebiete sind Probleme bei denen fraktionale physikalische Gesetze gelten, seien es Übertragungsleitungen, elektrisches Rauschen, dielektrische Polarisierung oder Probleme der Wärmeübertragung. Die mathematische Behandlung von Modellnetzen mit finiten Elementen wie zum Beispiel für die Ermittlung der Auswirkung von Geschoßen auf Platten ist möglich. In dem Beitrag „An overview of the CRONE approach in system analysis, modelling and identification, observation and control“ von Alain Oustaloup u. a. wurden Anwendungen aus dem Bereich poröser Dämme, hydropneumatischer Federung, Viskoselastizität, Elektrochemie (Batterien), Wärmefluss bei Drehstäben und das CRONE-Regelungstechniksystem gezeigt. Fraktionale Differentiation ermöglicht Modelle mit einer geringeren Anzahl von Parametern im Vergleich zu Modellen mit Integerzahlen.

Bei einer Sitzung über Regelungstechnik-Ausbildung wurde dargelegt, dass die Industrie in England keinen Bedarf an Kenntnissen über den Ansatz des Zustandsraumes habe. Die Steuerung der Ausbildung der Industrie zu überlassen scheint daher wohl nicht zielführend zu sein.

Das Konsortium von FlexRay ist daran interessiert, dieses Hochgeschwindigkeits-Protokoll nicht nur im Kraftfahrzeugbereich anzuwenden. Bei der *Highlight Round-table Presentation by IFAC Coordinating Committee on Transportation and Vehicle Systems (CC7)* wurden die Möglichkeiten einer Verbesserung der Sicherheit von Autos diskutiert. Erst in der Diskussion mit dem Publikum wurde darauf eingegangen, dass durch technische Verbesserungen beim Fahrzeug und durch die Telematik wirkliche Probleme wie Alkoholismus und Ermüdung nicht in den Griff zu bekommen sind. In den USA werden daher schon Gespräche mit Versicherungen geführt, wieweit Lenker durch die Benützung heute schon möglicher Überwachungseinrichtungen günstigere Versicherungsprämien oder Förderungen erzielen könnten.

Der Vortrag „The Unified Enterprise Modelling Language“ von Andreas Opdahl gab den Stand der Bemühungen des *Interop Network of Excellent* auf dem Gebiet der Modellierung von Unternehmen und deren Informationssystemen an. Es wird eine allgemeine Ontologie geschaffen und geht über die bekannte *Unified Modelling Language (UML)* hinaus.

Die Visualisierung wird intensiv weiterentwickelt. Sei es zur Darstellung von Problembereichen, Informationen und Gefühlen. Für die Erfassung und Entwicklung eines systemweiten Luftraumbetriebs in den USA wird für die verschiedene Entscheidungsträger FACET (Future Air Traffic Management Concepts Evaluation Tool) entwickelt. Im Video wurde von Banavar Sridhar ein Tag des Luftverkehrs in den USA und die Auswirkungen von Steuerung und Wetterbedingungen gezeigt.

Die Session „Control of Cooperative, Mobile Minirobots – Robot Soccer“ organisiert von P. Kopacek beinhaltete insgesamt sechs Vorträge. Einen Übersichtsvortrag, gehalten von Vorerwähnten folgte ein hardwarenaher Vortrag zu eingebetteter Bildverarbeitung auf MiroSot-Robotern von N. Jesse (TU Dortmund). N. Weiss (TU Wien) hielt einen vielbeachteten Vortrag zum Thema „Quantitative Comparison of Color Systems for Robot

Soccer Applications“. Thematisch beschäftigt sich dieser mit quantitativ-empirischer Forschung im Gebiet Farbsysteme im Roboterfußball. Die anderen drei Vorträge gehalten von Mitarbeitern der Universität Manitoba (Kanada); TU Wien (Österreich); KAIST, (Südkorea) beschäftigten sich mit zweibeinigen ( humanoiden ) Fußballrobotern. Dies spiegelt den gegenwärtigen Trend zu Humanoiden im Roboterfußball wieder, der wiederum ja nur den schon länger anhaltenden Trend zu „Menschenähnlichen“ allgemein aufgreift, als Stichwort sei dazu „Asimo“ von Honda genannt, der, wenn auch als „closed source“ nicht direkt, aber immerhin indirekt, über seine Publizität, die Forschung in diesem Bereich gefördert hat. Zu bemerken ist an dieser Stelle, daß – überraschend – das Thema „Humanoide Roboter“, das zumindestens eine enorme Publizität der „Automatic Control“ erzeugt, im Rahmen des Weltkongresses zwar behandelt, aber nicht explizit fokussiert wurde.

Abgesehen davon war das Programm – wie bereits erwähnt – thematisch außerordentlich reichhaltig und deckte das gesamte skizzierte Themenspektrum ab, was mit Sicherheit ein absolut auszeichnendes Merkmal des IFAC-Weltkongresses ist. Er bietet sowohl die Möglichkeiten, sich einen groben Überblick über dem eigenen Arbeitsgebiet verwandte wie ferne Forschungs- und Anwendungsbereiche zu erhalten als auch im eigenen Arbeitsgebiet vertieft zu agieren. Gerade in meinem Arbeitsgebiet, dem digitalen Bildverstehen, in dem bereits die Forschungsansätze über mehrere Themengebiete und Disziplinen verteilt sind, und dies bei den Anwendungsgebieten noch mehr der Fall ist, ist das breite Spektrum des IFAC-Weltkongresses von unschätzbarem Vorteil.

Abgesehen von den Plenarvorträgen lief das Vortragsprogramm meist in 29 parallelen Vortragsblöcken - plus Posterblock - ab, was naturgemäß eine starke Selektion der besuchten Vorträge bedingte.

Die vier Sessions des Tracks „Recent Development of Intelligent Robots“ - als „Highlight Session“ geführt - bot einen sehr fundierten Abriss über die aktuellen Entwicklungen in diesem Themengebiet. Die Blöcke umfaßten dabei „Navigation“, „Mobility“, „Vision & Human Robot Interfaces“ und „Architecture & Applications“. Ergänzt wurden diese durch weitere thematisch ähnlich gelagerte Einzelsessions zu den Themen „Robotics Vision“, „Localization and Mapping“, „Advanced Intelligent System Based on Machine Vision“. Allein dieser Themenblock samt ergänzenden Einzelsessions besitzt den Umfang einer kleineren Konferenz zu diesem Thema, ist dafür aber wesentlich breit gefächerter und gibt so für in der Forschung und Technik mobiler autonomer Roboter Tätige einen fundierten Abriss über die aktuelle Entwicklung. Als einziger Nachteil ist hier die teilweise Parallellage von Vorträgen zu nennen, sofern sie nicht als Themenstrang geführt wurden, was aber beim gegebenen Umfang des Programms praktisch nicht ausbleiben kann. Auch „Recent Development of Intelligent Robots II“ lag – zu meinem großem Bedauern – parallel zu „Control of Cooperative, Mobile Minirobots – Robot Soccer“.

Die von P.Kopacek organisierte Session „ Supplemental Ways for Improving International Stability – SWIIS“ war naturgemäß sehr heterogen. Beginnend mit der Modellbildung für Konfliktpartner – Kopacek, Erbe und Tsyganov – über Einflüsse der Sicherheit auf Konflikte – Stapleton, Freeman – sowie allgemeinen Betrachtungen – Kile, Dimirovski; Genser – bis zu Energieproblemen – Lewoc, Han – wurde ein breites Spektrum behandelt.

Von österreichischer Seite war noch das Paper „ Mechatronics Management“ in dem ein neues BSc Studium basierend auf einem EU Projekt der TU Wien vorgestellt wurde.

Bei der „Milestone“ Präsentation von TC4.2 „Mechatronic Systems“ präsentierte der TC Chair Masayoshi Tomizuka die Trends in modernen mechatronischen Systemen. Die synergetische Integration physikalischer Systeme mit Elektronik- und

Informationstechnologie und komplexe Entscheidungsfindung in Entwurf, Herstellung und Betrieb industrieller Produkte und Verfahren, wurden in seinem Vortrag behandelt.

Die Forschung und Entwicklung für Mechatronik-Systeme wächst ständig, wobei derzeit die Integration im Mittelpunkt des Interesses steht. Mögliche Technologien dazu sind Embedded-Systeme, Sensoren und Aktuatoren, Regelungstechnik, Simulation und CAD/CAM. Auch die „domain-orientierte“ Forschung ist im Vormarsch, wie Beispiele aus dem Bereich Fahrzeugtechnik, Motoren- und Zugsentwicklung, biomedizinische Geräte, Speichermedientechnologie, Mikrocomputer und Nanotechnologie zeigen. In den automotiven Systemen wurden vorzugsweise folgende Themen behandelt: mechatronische Verbrennungskraftmaschinen, mechatronisch angetriebene Züge, mechatronische Aufhängung, mechatronische Steuerung und mechatronische Bremsen. In der Motorensteuerung nehmen die Einsätze von mechatronischen Stellgliedern stark zu. Bei den Zügen gewinnt die Steuerung von „Tilting“-Zügen immer mehr an Bedeutung. Diese Züge können ohne Bremsung und somit mit höherer Geschwindigkeit in Kurven fahren. Gemäß Tomizukas Voraussage werden die Integration und die Synthese komplexer Systeme weiter an Bedeutung gewinnen, und deshalb wird auch die Rolle von Regelungstechnikern und Systemtechnikern immer wichtiger. Zukünftige Systeme haben weitere Synergien zwischen Mechanik, Sensortechnik und Antrieb, die durch eingebettete elektronische „system-on-chip“ Technologien wesentlich erweitert werden. Damit kann eine höhere Rentabilität zu Lösungen führen, die eine fortgeschrittene elektronische Entwicklung einbeziehen.

Eine weitere zukünftige Möglichkeit ist, dass die Mechatronik eine hierarchische Eigenschaft besitzt, wie z.B.:

- hohe Funktionalität eines mechatronischen Systems besteht aus mehreren mechatronischen Teilsystemen.
- Verteilte Verarbeitungsfunktionen mit einer zentralen Koordination
- Smart Werkstoff für Zusammenstellung mechanischer Strukturen, wie komplizierte MEM Sensoren
- Selbstdiagnostizierende Aktuatoren mit komplexer, zentraler Informationsverarbeitung, die sich selbst adaptiert bzw. rekonfiguriert.

Im Bereich der Servicerobotertechnik waren interessante Beiträge über die Interpretation und den Austausch von Emotionen zwischen Benutzer und Roboter. Es wurde versucht, die Sprache, Berührung und Geste zu erkennen und die Emotionen des Roboters durch Gesichtsausdrücke und Töne auszugeben. Es gibt zwei Schritte für die Spracherkennung von Emotionen: Erkennung von Feature und Klassifikation. Für die Klassifikation von Spracherkennung wurde das Hidden Markov Model angewendet. Während der Tagung wurde der androide Roboter EveR-2 ausgestellt, und ein Beitrag über die Entwicklung des Roboters zeigte, wie Hardware, Software und Interpretation der Emotion funktionieren. Dieser Roboter kann 6 Emotionen zeigen und kommuniziert mit Menschen durch die Erzeugung von bis zu 100 unterschiedlichen Gesten.

In der Session „Ubiquitous Robotic Companion“ wurden fünf Papers präsentiert, wobei alle Beiträge, die mit der „ubiquitous“ Technik zu tun haben, aus Korea kommen. Der Grund dafür ist, dass Korea zurzeit die Forschung und Entwicklung in diesem Gebiet forciert.

Zur Forschung an humanoiden Robotern wurde ein Beitrag über die Generierung von „Walking Pattern“, durch den Reinforcement-Lernalgorithmus präsentiert. „Biped Walking Pattern“ wurde als 3. Ordnung Polynom gewählt. Die vier Rahmenbedingungen waren Anfangsposition und -geschwindigkeit sowie Endposition und -geschwindigkeit des Gelenks.

Die nahezu über perfekt organisierte Tagung gab hinreichend Zeit für einen

intensiven Informationsaustausch. Der nächste IFAC Kongress im Jahre 2011 findet in Mailand statt.

**Bericht**  
**Informatica 2009**  
**13. Kongreß und Ausstellung**  
**9. – 13. Februar 2009**  
**La Habana, Cuba**  
**P. Kopacek**

---

Diese internationale Veranstaltung findet im Zweijahres-Rhythmus statt und hat sich in Mittel- und Südamerika bestens etabliert. Sie besteht aus einer ausgewogenen Mischung von Workshops, Symposien und Übersichtsvorträgen und wird durch eine Ausstellung ergänzt.

Diesmal enthielt das Programm 15 Plenary papers, 2 Panel discussions, 3 Workshops sowie 33 Symposien. Die zugehörige Ausstellung musste auf Grund des großen Interesses auf das Messegelände von La Havanna verlegt werden.

Thematisch lag naturgemäß der Schwerpunkt auf IT Themen. Dabei spannte sich der Bogen von Informatics and Community, IT in Health Systems, e-commerce über Supercomputing, Geomatics, Education, Security bis zu Digital Art and Virtual Reality. "Nicht" IT Tagungen wurden unter anderem über Bio- & Neural Networks, Micronanotools und Automation abgehalten.

Am Symposium über Automatisierung lag der Schwerpunkt der insgesamt 4 Vorträge auf Robotik. Hier wurden, neben einem Übersichtsreferat aus Spanien überwiegend Papers über konventionell, klassische Robotertechnik präsentiert. Die meisten anderen Vorträge waren überwiegend Berichte über Ergebnisse von Kooperationsprojekten von kubanischen Universitäten und Forschungseinrichtungen mit Spanien und Südamerika und daher thematisch sehr heterogen.

Vom Verfasser wurden 2 Papers über einen „Low Cost“ Miniroboter für Weltraumanwendungen sowie ein neues BSc und MSe Studienprogramm „Mechatronics Management“ gehalten.

Die Tagung unter der Patronanz des kubanischen Ministeriums für „Informatik und Kommunikation“ wurde von einer Vielzahl von Firmen, Universitäten und staatlichen Einrichtungen unterstützt. Die Teilnehmerzahl dürfte bei 2500 gelegen sein – es waren keine genauen Angaben verfügbar. Sie war von Vorträgen aus Kuba dominiert und die Konferenzsprache war überwiegend Spanisch.

Die Veranstaltung fand große Beachtung in den kubanischen Medien wie z.B. einer einstündigen Sendung im TV.

# 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 preferably by email to: Em.O.Univ.Prof.Dr. Alexander Weinmann [weinmann@acin.tuwien.ac.at](mailto:weinmann@acin.tuwien.ac.at),  
Institute of Automation and Control, Vienna University of Technology, Gusshausstr. 27-29,  
A-1040 Vienna, Austria.

Please, submit an additional copy of the paper (at least of the first page of the paper) to Alexander Weinmann via fax +43 1 58801 37699 or via ground mail.

Or to: Em.O.Univ.Prof.Dr. Peter Kopacek [peter.kopacek+e325@tuwien.ac.at](mailto:peter.kopacek+e325@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)

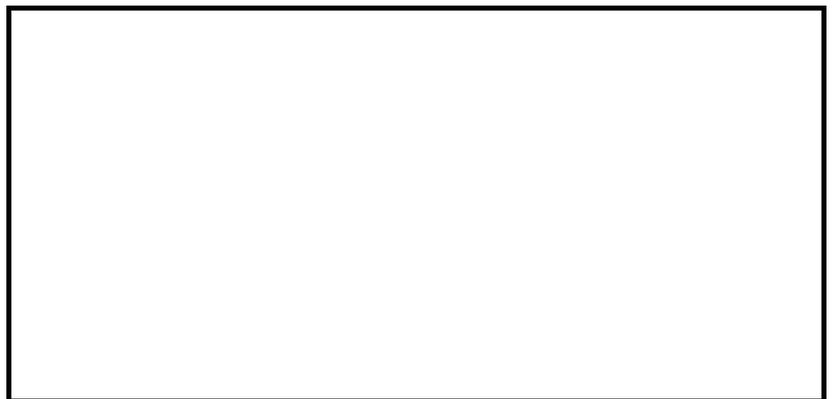
Figures and Tables should be integrated in the paper and have to be referred to as Fig. 4.1 or Tab. 5.2.

## 4 References

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

## 5 Word Processing System/Editor

Microsoft Word for Windows 1.1 or higher; Microsoft Word 5.0; TeX or LaTeX.



**Wenn unzustellbar, retour an:**

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