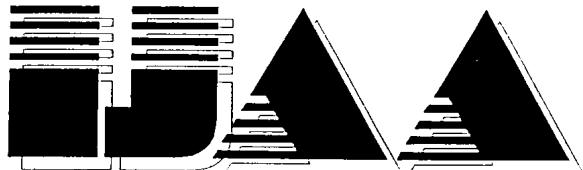


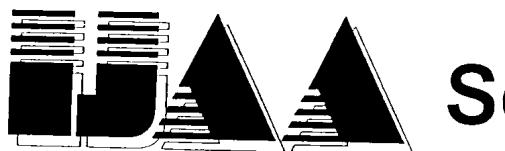
INTERNATIONAL JOURNAL AUTOMATION AUSTRIA



HEFT 1

Jg. 14, (2006)

<i>INHALT</i>	<i>Seite</i>
DEBEVEC, M.; NOE, D.; PERME, T.: A Virtual Manufacturing System for Tool-Making Companies	1
WEINMANN, A.: Attenuating the Interaction Via Discrete-Time Controllability Gramian	13
RIGLER, A.; SCHUSS, M.: Truncation der Harmonic Transfer Matrices bei der Stabilitätsuntersuchung von linearen zeitperiodischen Systemen	31
KOPACEK, P.: 50 Jahre Österreich und IFAC	44
SCHLAGLICHTER	48
BUCHBESPRECHUNGEN	49
FRED MARGULIES-PREIS	50
DISSERTATIONSKURZFASSUNGEN	51
DIPLOMARBEITEN	56
21. ÖSTERREICHISCHER AUTOMATISIERUNGSTAG	57
VERANSTALTUNGEN	59



SCOPE

"International Journal Automation Austria" 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)
Noe, D. (SLO) Schaufelberger, W. (CH)
Schlacher, K. (A) Schmidt, G. (D) Troch, I. (A)
Vamos, T. (H) Wahl, F. (D)

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

E-Mail: Phone: +43.1.58801-31801; FAX: +43.1.58801-31899
e318@ihrt.tuwien.ac.at

Homepage: http://www.ihrt.tuwien.ac.at/IFAC_AUT/
<http://www.acin.tuwien.ac.at/IJAA/index.htm>

Layout: Dana Prochazkova

Printing: Grafisches Zentrum HTU-GmbH

A VIRTUAL MANUFACTURING SYSTEM FOR TOOL-MAKING COMPANIES

M. Debevec, D. Noe, T. Perme

Laboratory for Handling, Assembly and Pneumatics

University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering

Summary

A tool-making company is a typical representative of small and medium-sized companies with characteristic individual methods of production. Besides machining centres, cutting tools represent the most expensive item in production costs of such companies. By using computerized planning systems and tool management of cutting tools it is possible to reduce costs, but for the efficient planning of production it is still not enough. Therefore the purpose of this article is to throw the light on these questions and to introduce a concept of virtual manufacturing for the planning and evaluation of efficiency of production in tool-making companies.

1 Introduction

Tool-making companies are generally small and medium-sized companies that use the most contemporary technologies and machines. The question that arises all the time is how to unite on the one side the totally individual production, and on the other side costly high estimated means, which have to be exploited as much as possible to be really profitable?

The solution for that comes from information technologies, especially in integrated information systems. They should give the planner the possibility to make an efficient production plan, to evaluate it before realisation, and to monitor its execution. The problem is that there exists no such system on the market which could also be efficiently used for SMEs with an individual type of production. One of the main reasons for this is the project-oriented organisation of production in such companies that is not adequately supported by existing planning systems. Other strong reason could be found in the fact that solving technological problems has a priority in comparison with organisational problems, and so the available computer-supported tools are mostly oriented in technology.

However, the need of tool-making companies to obtain appropriate planning systems force them buying of the informational systems available on the market, planning systems and tool management systems, adopting the theme to their own requirements and needs, and connecting the theme in one more or less successful and consistent system. But in spite of all that they still cannot check the production plan or evaluate the efficiency of different methods or actions in advance. For that they also need to implement simulation, which again requires additional time, resources, and not negligible costs. Because of these reasons and in spite of well-known and recognised benefits, the simulation cannot find its place in practise.

The present state in companies also show that manufacturing systems are, in most cases, developed and built without considering the special influences on manufacturing-like interactions between workers and their working environment (Hadfield, et al., 2000). Those factors are not taking into consideration the classical simulation execution of the planned manufacturing system.

In a modern approach, human operators have to be considered, not just in a manner of capacity, but also with all their properties that have influence on the execution of tasks and decision-making. It is

obvious that decisions depend on the instantaneous combination of other workers' influences, instantaneous working tasks, and the state of the manufacturing system.

The tasks which have to be executed by human workers and operators in manufacturing are mostly defined with a technological plan and time schedule, but that is not enough for the modelling of the decision-making processes. There are tasks and decisions that are executed and made by human operators in everyday manufacturing processes that are not exactly defined or described in any manufacturing documentation. There are also situations where the worker has the ability to choose between several different possibilities. The execution of these tasks and decisions depends mostly on knowledge, skills, and even intuition about every particular operator and worker. The problem is, however, to collect and model all these tasks and decisions.

The aim of this article is to introduce the concept of Virtual Manufacturing (VM) for small and medium-sized companies, and to present the framework of Virtual Manufacturing Systems (VMS), especially adapted for the tool-making companies. The tools that have been developed according to the concept of VM and the framework of VMS, which will help solving the aforementioned problems, are also described. An appropriate solution for the modelling of human resources is introduced and some essential features that have to be considered in a human resource model are presented.

2 A Virtual Manufacturing for Tool Making Companies

Tool making companies have a typical individual type of production which is very difficult to plan without an appropriate production planning system. There is no recipe for the development of such a system, and each attempt has its own potentials and drawbacks. One such attempt is the integration of concepts of Virtual Manufacturing and Integral Informational System (IIS) in one consistent system that will help planner to produce a better production plan and to evaluate that plan in advance. The same concept of Virtual Manufacturing (VM) can also be used within the Enterprise Resource Planning (ERP) system and additionally the within the Supply Chain Management (SCM) system, because the evaluation of the production plan in advance also gives the data about "actual" utilized resources and "actual" times of finishing the orders. Tool-making companies are often organised into Virtual Production, where accurate production planning is very important and where VM can also bring some advantages.

2.1 The Concept of Virtual Manufacturing

Virtual manufacturing (VM), introduced by Onosato and Iwata (Onosato and Iwata, 1993), is a concept that can be an imperative for obtaining a new tool for automation and control engineering. Several authors in the different branches of knowledge discussed the theme Virtual Manufacturing (Banerjee, 2001; Dai, 1998; Lederer, 1995; Virtual MUW, 1994), but the first contribution and achievements of VM were reviewed by Shukla (Shukla, et al., 1996), where VM was defined as a computer system capable of generating information about the structure, status, and behaviour of a manufacturing system, and can be observed in a real manufacturing environment.

The term "virtual" means that the activities within the information and manufacturing process are accomplished by and within a computer, and the resources and material are the objects described and represented by the information (Perme, 1995). According to the VM concept, the manufacturing system can be either real or virtual and can be presented in the form of a real physical subsystem (RPS), a real informational subsystem (RIS), a virtual physical subsystem (VPS), or a virtual informational subsystem (VIS)(Fig. 1).

From these four basic interpretations of manufacturing systems, combinations can be set up that have significance in a real environment. The combination of a VPS and an RIS is sensible for establishing a Virtual Manufacturing Environment (VME). In effect, VPS-RIS means a virtual manufacturing system (physically) where a virtual product is manufactured by a computer on the basis of real information.

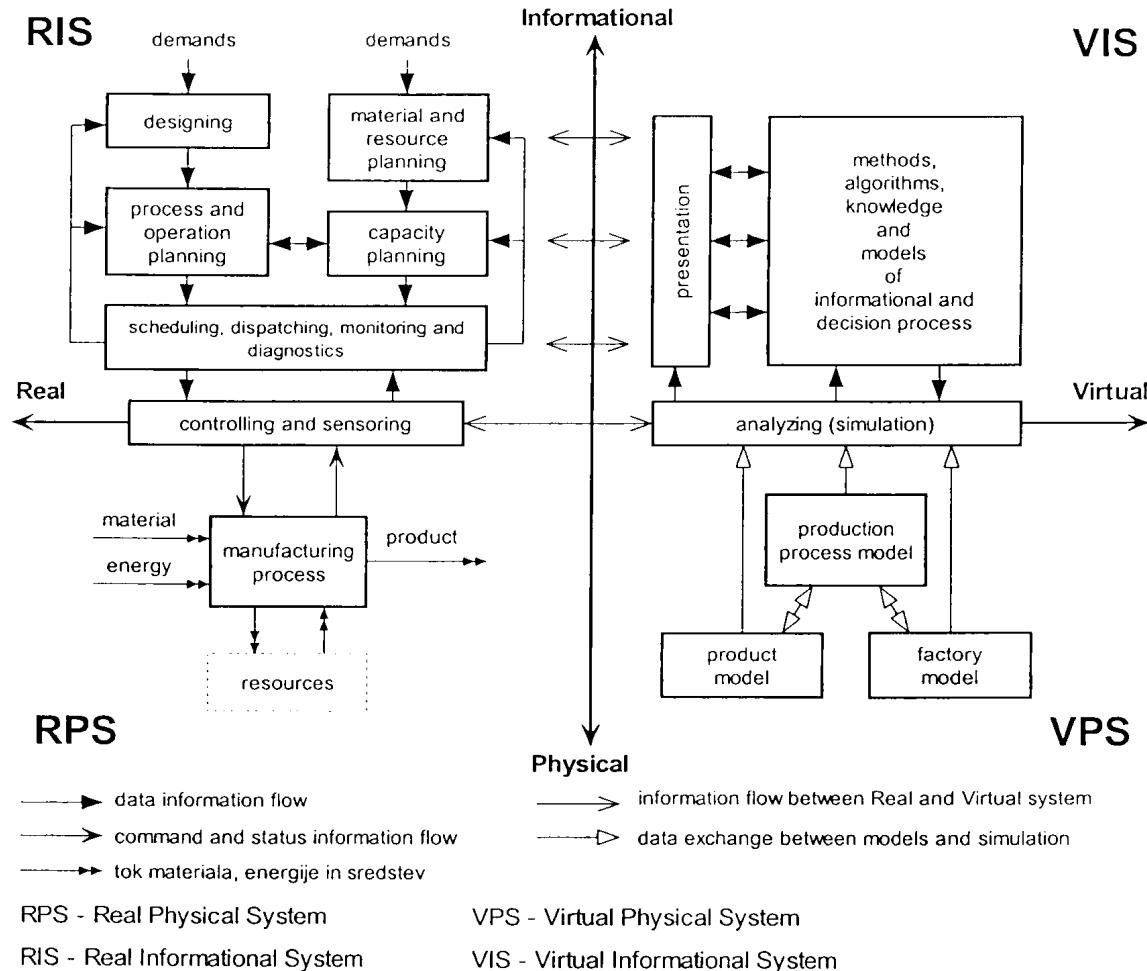


Fig. 1. Physical and Virtual Parts of the Information and Manufacturing Processes

Important elements of VM include the simulation and presentations of the results. The "reality" of the VM system is closely connected with the accuracy of the simulation results and the assumption of reality in the presentation. The results of the simulation must be accurate and generated in real time, and the designer must find a balance between these conditions within the given computational capacity.

2.2 VMS for Tool Making Companies

From the various possible combinations, a VME can be set up containing three basic models of real manufacturing systems (RMS): the product, the process, and the factory model. These models can be analysed by simulation and the results can be presented in a form approaching reality.

In the case of VME for tool making companies, a VMS can be integrated within the production planning system so that a planner can simulate a production plan and obtain the state of production and resources according to a production plan in advance. In a VME, the VMS is integrated in the existing planning system (Fig. 2) so that the user cannot distinguish if the data about the state of production are generated via simulation or obtained from a real system. The main difference

between simulation and a VMS is in the complexity of models, the way of generation of simulation models, and the form of presenting the results.

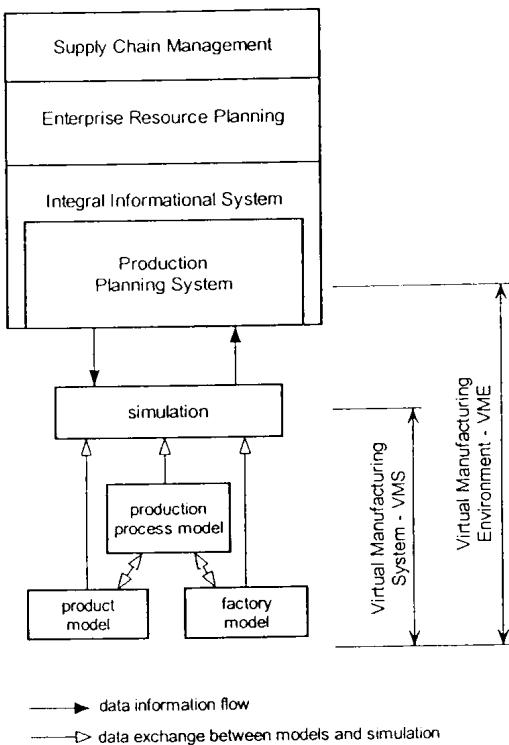


Fig. 2. VMS and VME for Production

The production planning system is part of the IIS, and so if the ERP and SCM systems are connected to the IIS, they can use the data from the VMS. They can also access the VME, but only through the Production Planning System (PPS), because the right meaning of VMS only comes from being connected to a real PPS. The models of the manufacturing system can also be used in connection with other systems, for example ERP, but only if the appropriate data including the production plan as well as the schedule can be generated as an input to the models' configuration and simulation.

2.2.1 Product Model

The product model contains the description and representation of all instances of products. These instances depend on the type of simulation and representation of the results. The VME for tool making companies anticipate the instances that are already present in the production planning system and are necessary for planning of production and for monitoring of production execution.

Normally the product is represented in the production planning system by a tree structure, where the product is broken down into subassemblies and parts regarding the design of the product. Each part is described with its drawing, where the shape, dimensions, tolerances, material, and special treatments are defined. According to this information the manufacturing and assembly operations are determined.

For the assembly of the product all instances are already defined within the tree structure, but product model contains also the instances of each individual part. Namely during the manufacturing processes, which transform the raw material into the finished part, the part has different intermediate states. These states are defined for each part in the production planning system by technological plan.

A part of the production planning system is a database, where also the data about product and all its instances are stored. When a VMS is integrated within a production planning system, the data model of the product and the data model of the technological plan also define and represent the product model.

2.2.2 Factory Model

The factory model is actually the layout of shop-floor with all the resources, and contains several sub models, which are indispensable for performing virtual manufacturing. The sub models of factory model represent the following resources:

- machining centres,
- measuring machine(s),
- cutting-tools,
- special equipment,
- clamping devices,
- transportation devices, and
- human resources.

Each type of resource has its own data model, which is in the same time also the sub-model of the particular resource. Most of these resources, as well as data about their properties, are already part of the database of production planning system. For a VME the database has been extended and completed so that all resources with all required data are part of it.

Each element in the database has its own identification number and according to the type of resource also its own data model. Additionally, there is a table of all the elements of all the resources that are part of the factory model, where the data about type, location, states, and optionally about graphical representation of each element is stored. In that way also the data about the lay-out are part of a database, so the complete factory model is integrated in the production planning system.

2.2.3 Process Model

The process model comprehends all feasible processes that are performed on the shop-floor and that are necessary for transformation of raw material into a product. There are four types of processes: transportation, transformation, storage, and verification. These types are adopted from a generic activity model (ISO 10314) that also defines three types of inputs and outputs: material, information, and resources.

Material is actually a product with all its instances, and is defined with a product model. The resources are equipment, and the people required for execution of the processes are defined within the factory model. The information is data and control information that determine the processes and control them.

In the production planning system the required manufacturing and assembly processes for particular product as well as their sequence are defined with the technological plan. Each position in the technological plan is actually a job that means a group of manufacturing operations, which are accomplished in one place with one set of resources. By scheduling, the sequence and the terminal plan of jobs are defined. According to this data, the real manufacturing processes are carrying out.

However, this data defines just the processes of transformation and some of the verification. In tool making companies the transportation, storage, and verification processes are scheduled and usually executed by shop-floor operators according to the production plan (i.e. technological plan, schedule). This means that the manufacturing processes cannot be accomplished without their decisions, and so the complete process model has to also consider the human resources and their decision-making processes.

2.2.4 Human Resources

In comparison to serial production, where the production plan is worked out in detail and jobs are assigned to machines in advance in a small batch or individual production, like the production in tool-making companies, the scheduling is normally carried out on the shop floor level simultaneously. This allows greater flexibility and quicker responsiveness, but demands more self-dependency and also more responsibility from the operator.

The production in tool-making companies is planned roughly. The main document in a workshop is a technological plan that flows through the shop floor together with a work piece. A technological plan determines all the required manufacturing processes on machines and other treatments for every work piece, but doesn't define exact procedures like clamping, cutting tool setting, etc. So, operators working on machining centres have to decide what, when, and how to prepare the work piece, clamping devices, and even the cutting tools. Although the machining parameters are set in the NC programme, it is usual that the operator changes them and so optimises the cutting processes.

There are different situations that require the operator to make a decision, and can be described as follows:

- More than one near equal solution is possible, but just one could be selected for prosecution (choosing between identical cutting tools or functional equal clamping devices). The solution is trivial, but has to be made because of the mutual exclusion problem.
- The operator has to choose between several but different solutions. An example for that is a selection of an appropriate cutting tool in the case when a defined one is worn-out or broken, and there is no identical one. This also causes the definition of new cutting parameters.
- The operator has to decide how to schedule an activity. An example for that is the clamping of a work piece in a machining centre. The technological plan set just the machining operations, but the complete clamping procedure is left to the operator. The operator has to select proper clamping devices, choose a proper clamping method, and proper clamping forces.
- The operator has to define the technology for manufacturing a work piece. These are cases when the jobs are not scheduled or even planned in advance. An example for this is an intervention, i.e. urgent repair of a worn-out or broken tool.

A decision-making process depends on subsequent planned tasks, possible solutions, and the actual state of the manufacturing system. Operator's decisions are made under the influence of individual operator's characteristics and work team characteristics. Regarding the goal, knowledge, and experiences, an operator can produce a sequence of activities that have to be fulfilled (Fig. 3.).

All stated operator's characteristics need to be incorporated in a virtual manufacturing system because the human factor has a great influence on production results. The human resource model describes the physical characteristics of workers (i.e. availability), as well as the ability to make a decision in all possible situations.

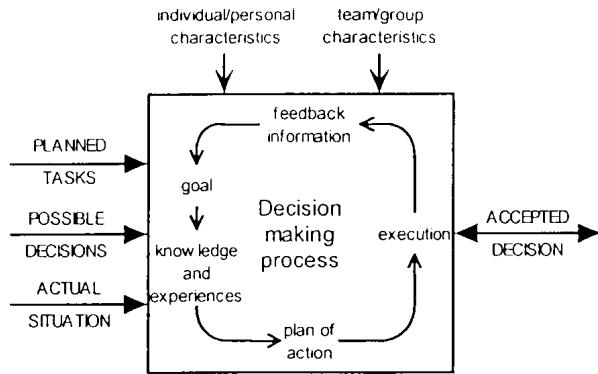


Fig. 3. Impact Factors on the Decision-making Process

2.2.5 Simulation

The product, factory and partially also the process models are part of the database of production planning system. The manufacturing process can be regarded as a bug of separately executed basic activities, which require certain resources they compete for and information they are controlled by. With this conclusion the models of VMS can be part of the activity model, which is used for the simulation model. For simulation on the basis of activity model extended Petri nets are implemented (Perme 2002). The core of the system is the simulation programme PN_EXE (Perme 2004) that executes the simulation model of the observed system based on the extended Petri nets theory.

3 An Example of a VME

The aim of project Computerized Tool Management (CTM) (Noe et all. 2002) was to throw light on the questions of organizational, that is the logistical point of view of cutting tools, and to develop the framework of an advanced tool-management system which is adaptable to the needs of tool shops and should be initiated in practice. The results of the CTM project were used as the basis for the new concept Simulation-Aided Tool Management (SATM). The practical aim of SATM was to reduce the purchasing and maintenance costs of cutting tools, to increase efficiency of machining centres by unvaried other production costs (and with that also actual capacity of tool-making company), and to increase reliability of orders' accomplishment.

The SATM concept and developed tools have also been the main part of the VME for tool-making companies. More precisely, with the integration of SATM into the Integral Informational System the core for VME was created.

3.1 Concept SATM

The concept SATM is focused on tool management for CNC machining centres because in these facilities it is very important that the cutting tools are prepared for machining at the right time and that the machining centres are used as much as possible, e.g. the machine tools work most of the time and do not wait on work-piece or cutting tools.

Based on the desired characteristics of SATM (Noe et all. 2002) the concept has been developed, and includes a database and a simulation technique. It consists of two modules:

- A basic module that includes a database of all tool elements and parts, as well as assembled tools in the workshop, and
- A module for predicting the cutting tools' availability.

3.1.1 Basic Module

The basic module is actually a database with all the data relating to the technical specifications, the location, and the temporary condition of cutting tools in the workshop. It is organised in such a way that each part of the tools has a unique identification number. The assembled tools take over the identification number of the tool holder and each new part of the tools gets a new identification number. The parts that are worn out and removed from the system take the ID number with them, so it cannot be used for any new parts.

The data of different types of parts, such as tool holders, adapters, drill or milling borer, for example, are recorded in different tables, so the data structure is reduced to a minimum. Besides these tables, there is also a table of all the elements in the system, where the ID, type of element, condition and location of the element are recorded.

Forms and queries of the basic module are organised in a user-friendly way. With the implementation of bar-code readers and special ID holders for all parts or elements the human-machine interface is as efficient as possible.

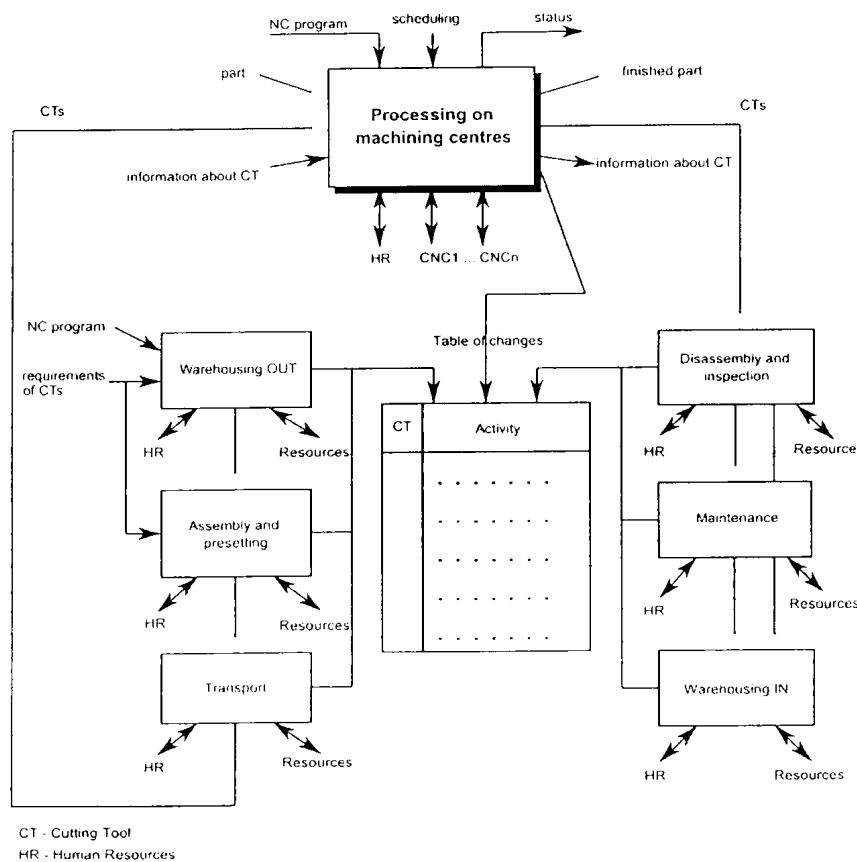


Fig. 4. Activities Supporting the Cutting-tools Flow and Table of Changes

The important part of the basic module is a table of all the changes. In this table all changes of any significant characteristics of every part or element in the database are recorded. In this way, from any state of the database, previous states can be restored. In fact, for each element the whole history is recorded and can be implemented for analysis.

3.1.2 Prediction Module

The important part for simulation is a table of all the changes (Fig. 4), which was added to the database for analysing purposes. In this table all the changes of any significant characteristics for every part or element in the database are recorded. In this way, from any state of the database previous states can be restored. In fact, for each element the whole history is recorded and can be implemented for analysis.

The prediction module is based on the idea that if any previous state of the system can be obtained using the table of changes, then any future state can also be obtained – if the recorded changes are known. The way to obtain this is to implement a simulation based on extended Petri Nets.

A table of changes is actually a sequence of activities in a workshop that are related with material and resources. For example, the activity diagram (generic activity diagram GAM) for a process on CNC machining centre CNC(i) with determined cutting tool (j) can be translated on the basis of an analogy between GAM and PN (Perme 2002) into extended Petri nets graph, where object type of tokens with attributes are implemented and they can be modified during activity execution. The table of changes contains records of particular activity, and with material and resources their related consequences (output places of the activity). Table 1 is, for example, a table of changes for a model on Fig. 5.

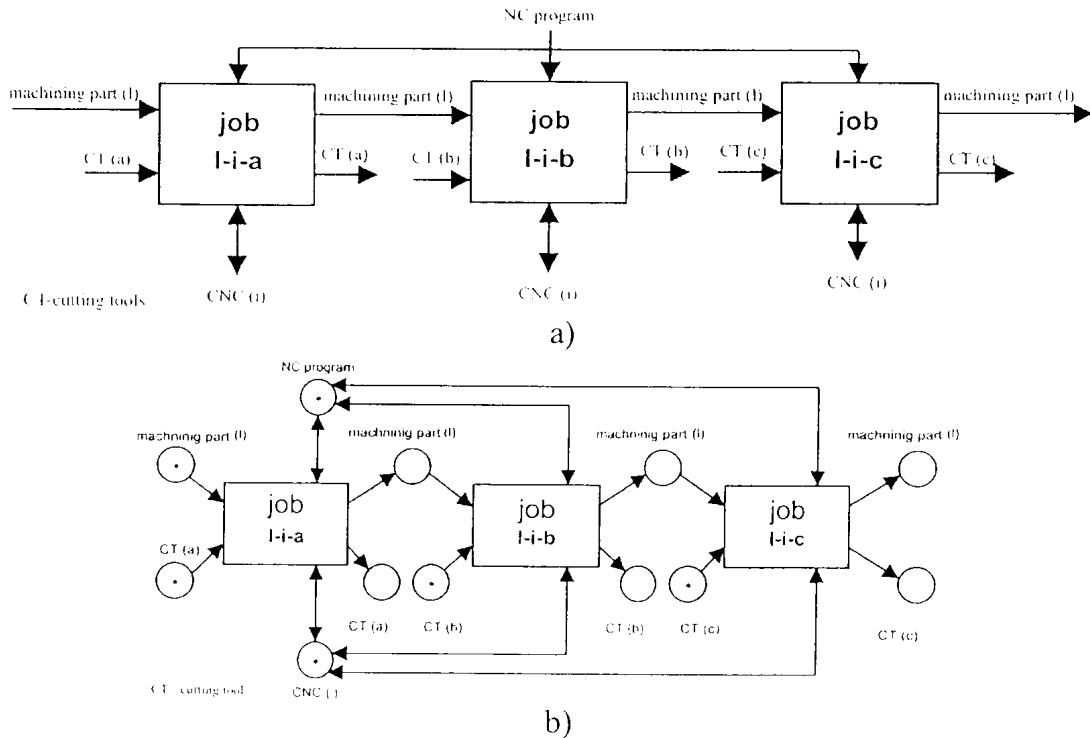


Fig. 5. An Example of CNC Machining, Represented by (a) Activity Model and (b) Petri Nets Model

Table 1. Table of Changes

Execution of Petri nets model (e.g. simulation) is carried out by the firing of enabled transitions. In one moment only a transition t_i , which is enabled, fires and so changes the state M_k to a new state M_{k+1} . That can be written by state equation as

$$M_k = M_{k-1} + C^T u_k \quad (1)$$

where C is incidence matrix and u_k is firing (or control) vector with all elements equal zero but the element on i^{th} place, which is equal 1. This represents execution of transition t_i at k -firing.

Firing of enabled transitions is repeated until the execution of the model is interrupted or there are no more enabled transitions. A total simulation course can be also written as firing sequence:

$$\{u_1, u_2, \dots, u_d\} \quad (2)$$

that brings observed system from initial state M_0 to final state M_d . This can be written by state equation as:

$$M_d = M_0 + C^T \sum_{k=1}^d u_k. \quad (3)$$

Table of changes for the entire system can be written as a sequence of components:

$$\{\{u_1, M_1\}, \{u_2, M_2\}, \dots, \{u_d, M_d\}\} \quad (4)$$

where u_k represents a transition (activity) that has been executed in instance k and M_k represents a conditions (state) after that execution.

3.1.3 Executing the Simulation

The described relationship between the Petri net model and the table of changes is the formal and also mathematical basis of the developed simulation system which is used for model generation and simulation execution, where the table of changes is also obtained.

For the workshop and cutting tools flow simulation, the PN_EXE has been extended with object tokens that represent material and resources, and with the ability for generation of the table of changes.

3.2 VME for Tool-making Companies

The practical experience with SATM showed that the integration with the IIS system is required for its efficient implementation. The main reason for that is that all data for simulation model generation and execution of simulation, as well as all forms for representation of simulation results are already available in IIS.

On the basis of experience with SATM and concept of VM, and regarding the human resources a special module has been developed that is fully integrated in IIS. The module automatically generates the simulation model from the data available in IIS (Fig. 6), executes the simulation, and generates the table of changes. Besides that the module also changes the data in IIS so that the operator can follow the execution of virtual manufacturing (Fig. 7).

Ok. Prekriv. Ured. Zapr.	LEVA VPEJALNA PLOŠČA 2003. 01										Povezave	Dodatak				
Ident.	2100	Tehnologija	A	Naziv	AKTIVNA TEHNOLOGIJA	Koda	2100	Število	42000.0000							
Ind. it/postapka	10	Stand. pos.	60	GROBO FREZANJE		Krajev.	GF	Nastavitev	2000.0000							
Naziv Dp	GROBO FREZANJE							Proc. material	500.0000							
Del center	50	GROBO FREZANJE						Konverzacija	0.0000							
Norm. osnova	1	Pl. čas nast.	1.00000	Pl. čas dela	4.00000			Energetika	448.0000							
St. delov	1	Raz. stv./del.	1.00	Izkostenek	100.0000			Fiksne stroški	800.0000							
Skupina Dp	0	Pozicija obj.						Delo delavcev	0.0000							
Priro. spremki	0	Obvezno spremanje			Kontrola po operacij			Vzdrževanje stroškov								
Zadetvenost	2	zakonsko														
Cen. medop. zadr.	0.20000	Prekrivanje nesl.oper.			Ni prekrivanja			Vrednost Po	0.00000							
Upominek																
Postopek	[Oper. postopek]	Funkcionalni oper.														
V. o. St.p	Naziv	U. naz.	Lx	Nastavitev	As.nastavitev	Cen.deli	Štev.delov	Raz.stv.del	Izkostenek	Skupins.	izd.delavcev	Priro.	prem.zadr.	Zadr.	Čas.MR	%
1.10.60	GROBO FREZANJE	GF	50	1	1.00000	4.00000	1	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	2.00000	%
2.20.4	TRANSPORT	TR	49	1	0.00000	0.00410	1	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	0.00000	%
3.30.11	FIN. FREZANJE IN FR. PF.	PF	51	1	1.00000	20.00000	1	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	0.00000	%
4.40.08	DRŽAVLJ.	VRV	51	1	0.00000	5.00000	1	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	0.25000	%
5.50.2	TRANSPORT	TR	49	1	0.00000	0.00270	1	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	0.00000	%
6.60.03	BRUŠENJE	BRU	53	1	1.00000	8.00000	1	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	0.50000	%
7.70.9	TRANSPORT	TR	49	1	0.00000	0.00240	1	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	0.00000	%
9.90.96	TESTIRANJE	MONT	55	1	1.00000	1.00000	2	1.00	100.0000	0	0	0	0	0	0.10000	%

Fig. 6. Input Form for Defining of Technological Plan

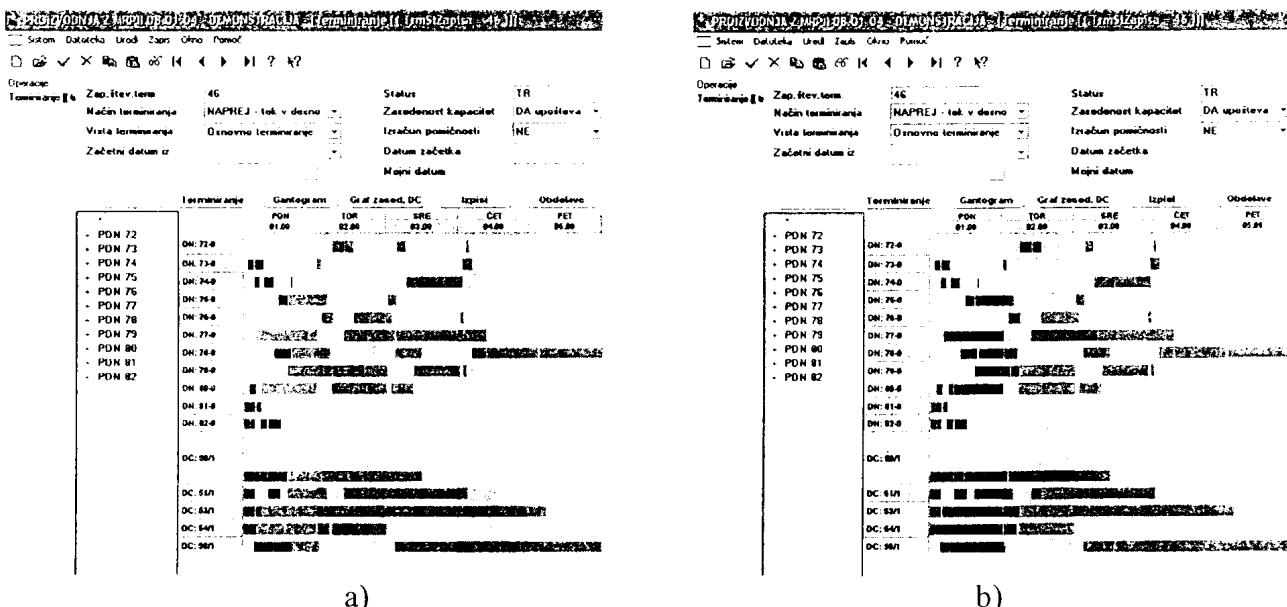


Fig. 7. Gant Chart of (a) Planned and (b) Simulated Production

4. CONCLUSION

The goal of the presented research work is to propose the model of Virtual Manufacturing System for tool-making companies. The important part of that model is dedicated to cutting-tools flow and human resources.

The presented model also gives a framework for the modelling of human operators and integration of these models into the VMS, and offers the possibility to configure rather than model the particular tool-making company. For the first prototype just simple models of human resources have been developed that make possible an implementation of virtual environment for small and medium-sized tool-making companies.

The developed VME prototype has been tested in laboratory conditions, and the first tests also show the suitability of the concept and developed tools for practical implementation. The prototype is developed in commercially available IIS system that is already used in many tool-making companies, so there is a good perspective for industrial implementation.

REFERENCES

- Banerjee, P., (2001). *Virtual Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc.
- Dai, F., (1998). *Virtual Reality for Industrial Applications*, Springer - Verlag.
- Debevec M. (2000) *Logistics of Cutting Tools in a Tool-making Company*. Diploma Thesis, Faculty of Mechanical Engineering, University in Ljubljana, Ljubljana.
- Hadfield, L., Mason, P., Fletcher, S., Mason, S., Siebers, P.-O., (2000). *Human Performance Modelling as an Aid in the Process of Manufacturing System Design*, Research Project, Manufacturing Systems Department, School of Industrial & Manufacturing Sciences, Cranfield University, Cranfield.
- Lederer, G., (1995). *Making Virtual Manufacturing a Reality*, Industrial Robot, Vol. 22/4/1995, MCB University Press.
- Kim B. H., Choi K. C., Choi B.-W., (2004). *R&D Activities in Korea on Virtual Manufacturing*, Journal of Advanced Manufacturing Systems, Vol. 3, No. 2, p. 193-204.
- Mujber T. S., Szecsi T., Hashmi M. S. J., (2004). *Virtual Reality Applications in Manufacturing Process Simulation*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 155-156, November 2004, p. 1834-1838.
- Noe D., Perme T., Debevec M. (2002) Computerized Tool Management CTM-1. *Final Report: RR Phase of Project*, Faculty of Mechanical Engineering, University in Ljubljana, Ljubljana.
- Onosato, M., Iwata, K., (1993). *Development of a Virtual Manufacturing System by Integrating Product Models and Factory Models*, Annals of the CIRP, Vol. 42/1/1993, pp. 475-478.
- Perme, T., (1995), *A Virtual Manufacturing System in Education*, Proceeding of Tempus Workshop on Automation and Control Engineering in Higher Education, July 5-7 1995, Vienna, Austria, pp. 7-14.
- Perme, T., Noe, D., (2002). *Erweiterte Petrinetze zur intelligenten Planung von Produktionssystemen*, International Journal Automation Austria, Vol. 10, No. 2, p. 111-124.
- Perme, T., Noe, D., (2004). *Simulation mit Erweiterten Petri-Netzen zur Planung von Montagesystemen*, International Journal Automation Austria, Vol. 12, No. 1, p. 1-16.
- Shukla, C., Vasquez M., Chen F. F., (1996) *Virtual Manufacturing: An Overview*, Computers and Industrial Engineering, Vol. 31, No. 1/2, pp. 79-82.
- Virtual Manufacturing User Workshop, (1994). *Technical Report*, Lawrence Associates Inc., Dayton, Ohio, 12-13 July.

Attenuating the Interaction Via Discrete-Time Controllability Gramian

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

February 20, 2006

Abstract

The interaction of multivariable systems is considered evaluating the controllability Gramian of the interacting pathes, treating them as single-input single-output parts of the system, each. Appropriate gradients are derived for the purpose of stepwise decoupling. State controllers and output controllers are studied even for systems of high order.

Keywords: Decoupling, interaction attenuation, influence of state and output controller

1 Introduction

For multivariable control systems, reducing the interaction by adequate operations in the state or output controller is an important target. In this paper, stepwise reduction of the interaction is performed. The steps are guided by the corresponding gradient of the cross energy. Discrete-time control systems are considered continuing a former paper (Weinmann, A., 2005) where continuous-time systems were investigated.

As a matter of principle, the interaction of multivariable systems is considered via controllability Gramians (Conley, A., and Salgado, M.E., 2000). The controllability Gramian

ans of the interacting pathes are evaluated after having the system separated into single-input single-output parts. Appropriate gradients are derived and prepared for incremental change of the controller.

In spite of several methods approaching analytically concise solutions, e.g., based on diagonalizing the closed-loop transfer matrices, the presented method uses gradient-oriented steps. They obey to the reduction of the output energy triggered by the impulse excitation of the separated single-input single-output pathes of the multivariable control system.

2 Discrete-Time Controllability Gramian

Based on the continuous-time single-input single-output system

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{b}u(t), \quad y(t) = \mathbf{c}^T\mathbf{x}(t), \quad (1)$$

employing a sampler with sampling time T_s and a zero-order hold, one has a discrete-time system

$$\mathbf{x}(k+1) = \Phi\mathbf{x}(k) + \psi u(k), \quad y(k) = \mathbf{c}^T\mathbf{x}(k), \quad (2)$$

where

$$\Phi = \Phi(T_s) = e^{\mathbf{A}T_s}, \quad \psi(T_s) = \mathbf{A}^{-1}[\Phi(T_s) - \mathbf{I}]\mathbf{b} \quad (3)$$

(Kuo, B.C., 1992).

If the stable discrete-time single-input single-output system is excited by a single input $u(0) = 1, u(k) = 0 \forall k \geq 1, \mathbf{x}(0) = 0$, then

$$y(k+1) = \mathbf{c}^T\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{c}^T\Phi^k\psi \quad (4)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} y^2(k+1) = \mathbf{c}^T \left(\sum_{k=0}^{\infty} \Phi^k \psi \psi^T \Phi^{k,T} \right) \mathbf{c} \triangleq \mathbf{c}^T \mathbf{L}_c \mathbf{c}. \quad (5)$$

Simply splitting \mathbf{L}_c

$$\mathbf{L}_c \triangleq \sum_{k=0}^{\infty} \Phi^k \psi \psi^T \Phi^{k,T} = \psi \psi^T + \sum_{k=1}^{\infty} \Phi^k \psi \psi^T \Phi^{k,T} \quad (6)$$

$$\mathbf{L}_c = \psi \psi^T + \sum_{k=0}^{\infty} \Phi^{k+1} \psi \psi^T \Phi^{k+1,T} = \psi \psi^T + \Phi \mathbf{L}_c \Phi^T \quad (7)$$

$$\text{col}\mathbf{L}_c = (\mathbf{I} - \Phi \otimes \Phi)^{-1} \text{col}(\psi \psi^T), \quad (8)$$

where ‘‘col’’ is an operator columnizing the matrix. Note that

$$(\mathbf{I} - \Phi)(\mathbf{I} + \Phi + \Phi^2 + \Phi^k \dots) = (\mathbf{I} - \Phi)(\mathbf{I} + \sum_{k=1}^{\infty} \Phi^k) = \mathbf{I} \quad (9)$$

$$\text{or } \sum_{k=1}^{\infty} \Phi^k = (\mathbf{I} - \Phi)^{-1} - \mathbf{I} \equiv \Phi(\mathbf{I} - \Phi)^{-1}. \quad (10)$$

3 Gradient-Based Attenuating the Interaction

Consider the output energy of a discrete-time single-input single-output system excited by a single input $u(0) = 1$. Referring to Eq.(5) and $\Phi_{cl} = \Phi + \Psi K_y C$, the output energy is

$$I_y = \sum_0^{\infty} y^2(k+1) = c^T \left(\sum_{k=0}^{\infty} \Phi^k \psi \psi^T \Phi^{k,T} \right) c = c^T L_c c , \quad (11)$$

where L_c follows from Eq.(7). The changes in ΔL_c in terms of the increments ΔK_y result from

$$(\Phi_{cl} + \Psi \Delta K_y \cdot C)(L_c + \Delta L_c)(\Phi_{cl}^T + C^T \Delta K_y^T \Psi^T) - L_c - \Delta L_c = 0 \quad (12)$$

$$\Phi_{cl} \Delta L_c \cdot \Phi_{cl}^T + \Psi \Delta K_y \cdot C L_c \Phi^T + \Phi_{cl} L_c C^T \Delta K_y^T \Psi^T - \Delta L_c = 0 \quad (13)$$

$$\text{col} \Delta L_c = E_3[(E_4 \otimes \Psi) \text{col} \Delta K_y + (\Psi \otimes E_4) \text{col} \Delta K_y^T], \quad (14)$$

where $E_4 \triangleq \Phi_{cl} L_c C^T$ and $E_3 = (I - \Phi_{cl} \otimes \Phi_{cl})^{-1}$.

Stepping forward to multiple-input multiple-output systems, we denote single-input single-output partitions from input k to output i . Referring to Eq.(5), the index of performance for y_i is

$$I_{yi} = (c_i^T \otimes c_i^T) \text{col} L_{ck} , \quad (15)$$

where c_i belongs to y_i and L_{ck} follows from Eq.(7) with columns $\psi = \psi_k$. The index I_{yi} should decrease to reduce the interaction. When a prefilter V is switched in front of the system, then the k th column of ΨV is used.

Referring to the derivation *Weinmann, A., 2005*, and Eq.(14), (15) and (34) to (36), one finds

$$\frac{\partial I_{yi}}{\partial K_y} = I_m \otimes \{(c_i^T \otimes c_i^T) E_3 (I_{n^2} + U_{nn}) (\Psi \otimes E_4)\} [(\text{col} I_m) \otimes I_r] \quad (16)$$

$$\frac{\partial I_{yi}}{\partial K_y} = \{\text{loc}_r[(\Psi^T \otimes E_4^T) (I_{n^2} + U_{nn}) E_3^T (c_i \otimes c_i)]\}^T . \quad (17)$$

The denotation “ loc_r ” is a command for decolumnizing into a matrix with r rows, opposite to “ col ”. The last internal term is simplified

$$E_3^T (c_i \otimes c_i) \triangleq \text{col} X_3 \quad (18)$$

$$c_i \otimes c_i = \text{col}[c_i c_i^T] = (I - \Phi_{cl}^T \otimes \Phi_{cl}^T) \text{col} X_3 \quad (19)$$

$$c_i c_i^T = X_3 - \Phi_{cl}^T X_3 \Phi_{cl} \rightsquigarrow X_3 = \text{dlyap}(\Phi_{cl}^T, +c_i c_i^T) . \quad (20)$$

The MATLAB command `dlyap` was introduced. Then $(\Psi^T \otimes E_4^T) \text{col} X_3$ is rewritten to $\text{col}[E_4^T X_3 \Psi] = \text{col}[C L_c \Phi_{cl}^T X_3 \Psi]$. Elimination of the permutation matrix U_{nn} of Eq.(37)

yields the factor 2 in the result. Hence, one has

$$\boxed{\frac{\partial I_{y_i}}{\partial \mathbf{K}_y} = 2 \Psi^T \mathbf{X}_3 \Phi_{cl} \mathbf{L}_{ck} \mathbf{C}^T}, \quad (21)$$

$$\text{where } \mathbf{X}_3 = \text{dlyap}(\Phi_{cl}^T, \mathbf{c}_i \mathbf{c}_i^T) \quad (22)$$

$$\mathbf{L}_{ck} = \text{dlyap}(\Phi_{cl}, \psi_k \psi_k^T) \quad (23)$$

$$\psi_k = k\text{-th column of } \Psi \mathbf{V}. \quad (24)$$

Effecting error-free steady-state and not influencing the cross-steady-state¹ is achieved by a special diagonal prefilter

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} 1/F_{11} & 0 \\ 0 & 1/F_{22} \end{pmatrix}, \quad (25)$$

where $\mathbf{F} \triangleq \mathbf{C}(s\mathbf{I} - \Phi - \Psi \mathbf{K})^{-1} \Psi$ and

$$\mathbf{V} = [\mathbf{C}(\mathbf{I}_n - \Phi - \Psi \mathbf{K}_y \mathbf{C})^{-1} \Psi]^{-1}. \quad (26)$$

Then the transfer function from \mathbf{y}_{ref} to \mathbf{y} is

$$\mathbf{F}\mathbf{V} = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/F_{11} & 0 \\ 0 & 1/F_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & F_{12}/F_{22} \\ F_{21}/F_{11} & 1 \end{pmatrix} \quad (27)$$

Example 1. Output Controller

For a discrete-time double-input double-output system of sixth order, Eq.(21) is applied. The controllability gramian \mathbf{L}_c is used for both inputs $k = 1$ and $k = 2$

$$\mathbf{W} = \Psi \mathbf{V} = (\mathbf{w}_1 : \mathbf{w}_2) \quad (28)$$

$$\mathbf{L}_{ck} - \Phi \mathbf{L}_{ck} \Phi^T = \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^T \quad \text{or} \quad \mathbf{L}_{ck} = \text{dlyap}(\Phi_{cl}, \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^T). \quad (29)$$

In Fig. 1 the attenuation of the step response from input 1 to output 2 is shown; the output 1 is nearly uninfluenced.

The prefilter \mathbf{V} is only used to keep the output 1 at constant value 1 during progress step by step, \mathbf{V} does not influence the transients of output 2. The remarkable reduction of output 2 is effected only by the gradient of Eq.(21).

For the sake of illustration, two more figures are included. In Fig. 2, the Nyquist plots from the reference inputs to the outputs are depicted. Correspondingly, the Bode diagrams

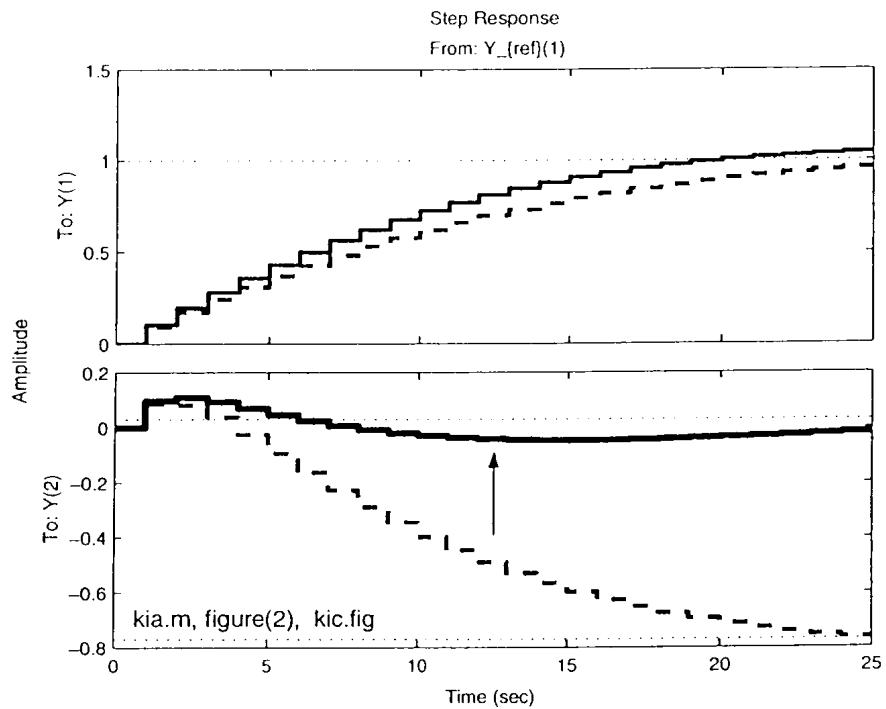


Figure 1: Output controller effecting decoupling

kia.m figure(4), kmf.fig

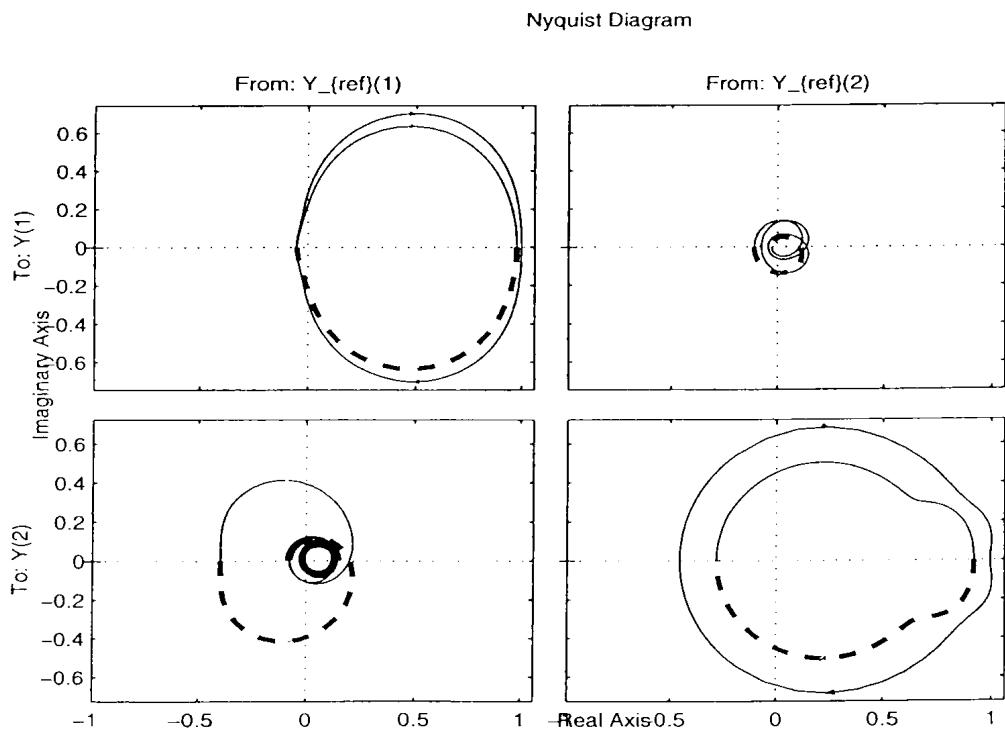


Figure 2: Nyquist plots for Example 1

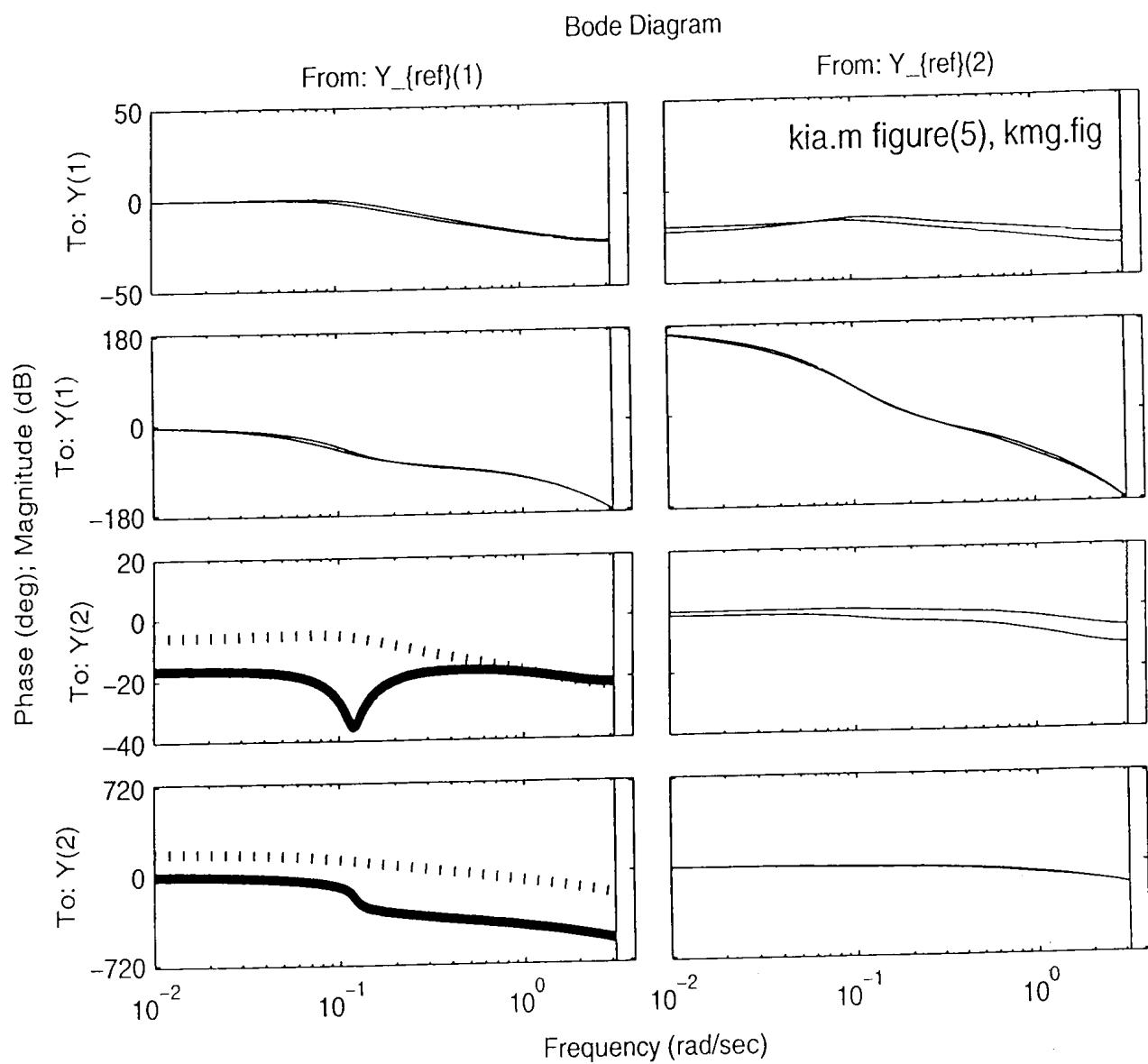


Figure 3: Bode plots for Example 1

are given in Fig. 3. Note the remarkable improvement from the first reference y_{ref} to the second output y .

Example 2. Output controller for a system of 14th order

Selecting the Nyquist plot from reference one to output two of the multivariable system is presented in Fig. 4. The initial and final 14 eigenvalues of the closed-loop system after 176 steps are as follows:

initially	and	finally
0.3421		0.0546
0.6452 + 0.1232i		0.6446 + 0.1240i
0.6452 - 0.1232i		0.6446 - 0.1240i
0.7342 + 0.1005i		0.8254 + 0.1390i
0.7342 - 0.1005i		0.8254 - 0.1390i
0.9045 + 0.0391i		0.7336 + 0.0999i
0.9045 - 0.0391i		0.7336 - 0.0999i
0.8232 + 0.1121i		0.8951
0.8232 - 0.1121i		0.8752 + 0.0663i
0.7828 + 0.0869i		0.8752 - 0.0663i
0.7828 - 0.0869i		0.7818 + 0.0852i
0.8522		0.7818 - 0.0852i
0.8363 + 0.0695i		0.8322 + 0.0679i
0.8363 - 0.0695i		0.8322 - 0.0679i.

¹i.e., input 1,2 to output 2,1, respectively

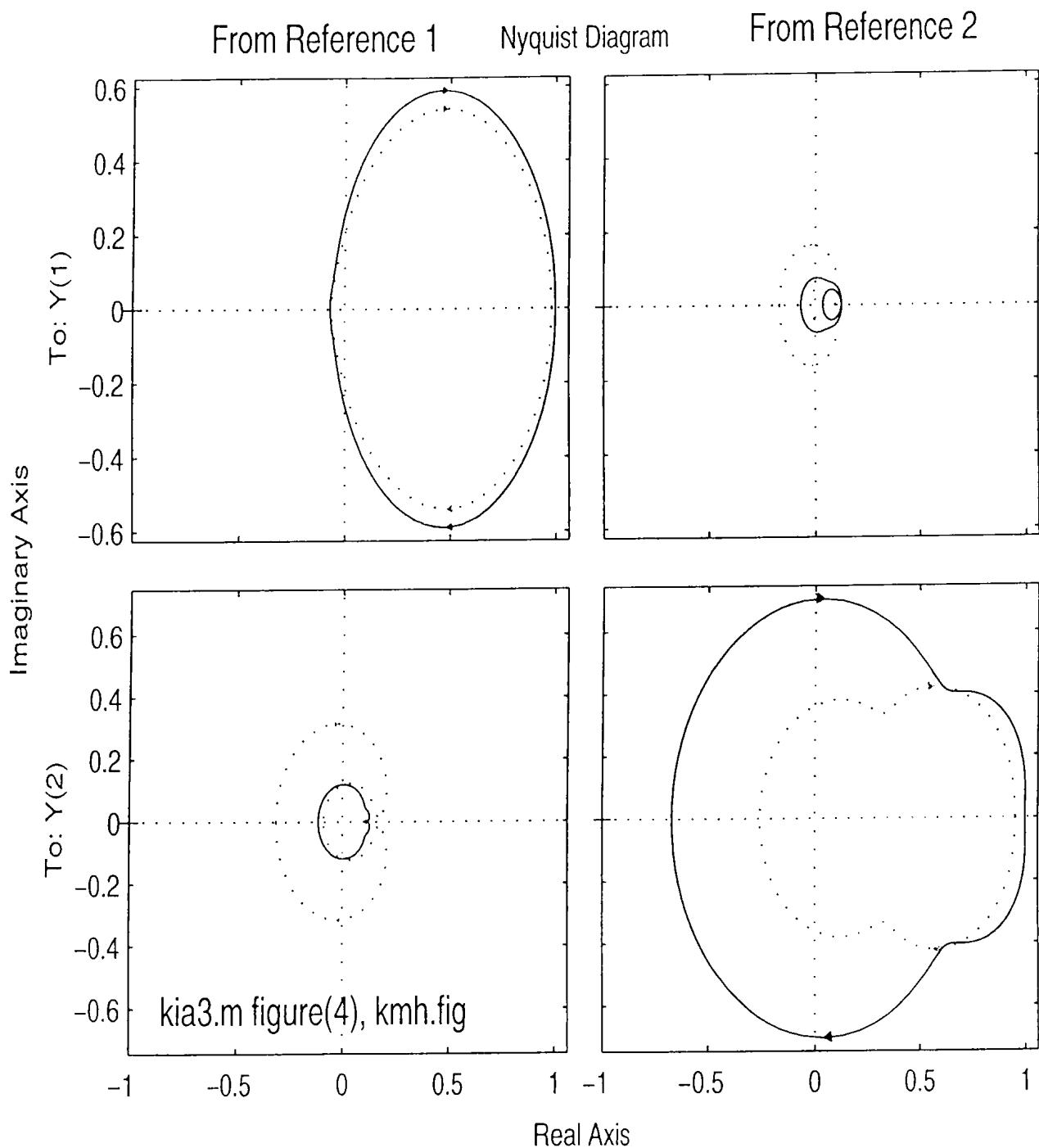


Figure 4: Nyquist characteristic for the 14th-order system of Example 2, initial and final characteristics are dotted and solid, respectively

Example 3. State controller:

Continuing Example 1, a state controller is used. Fig. 5 illustrates the decoupling effect following Eq.(21).

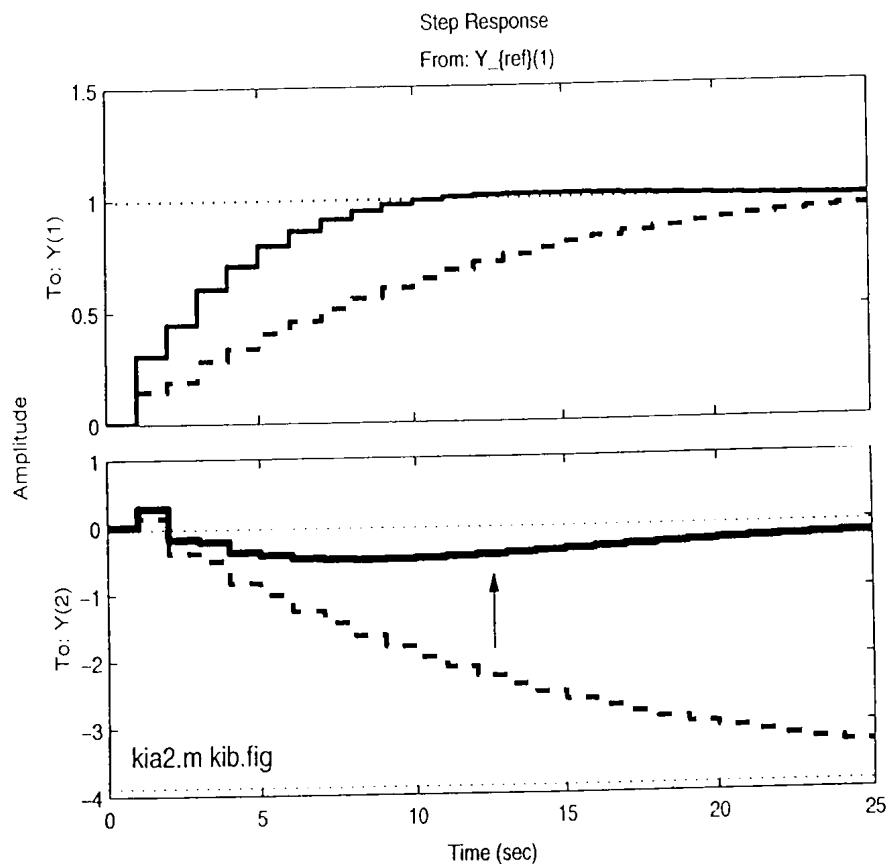


Figure 5: State controller of Example 3

Example 4. High-order system:

In this example the order of the plant is 24, equipped with poles at $\nu(-2 \pm 0.9j)$ for $\nu = 1 : 12$. An output controller for $r=2$ output variables is implemented. There is an excellent decoupling operation illustrated by the Bode diagrams in Fig. 6. From the viewpoint of a practitioner, the results are the same for $r = 2$ and $r = 14$ although the number of outputs is very different.

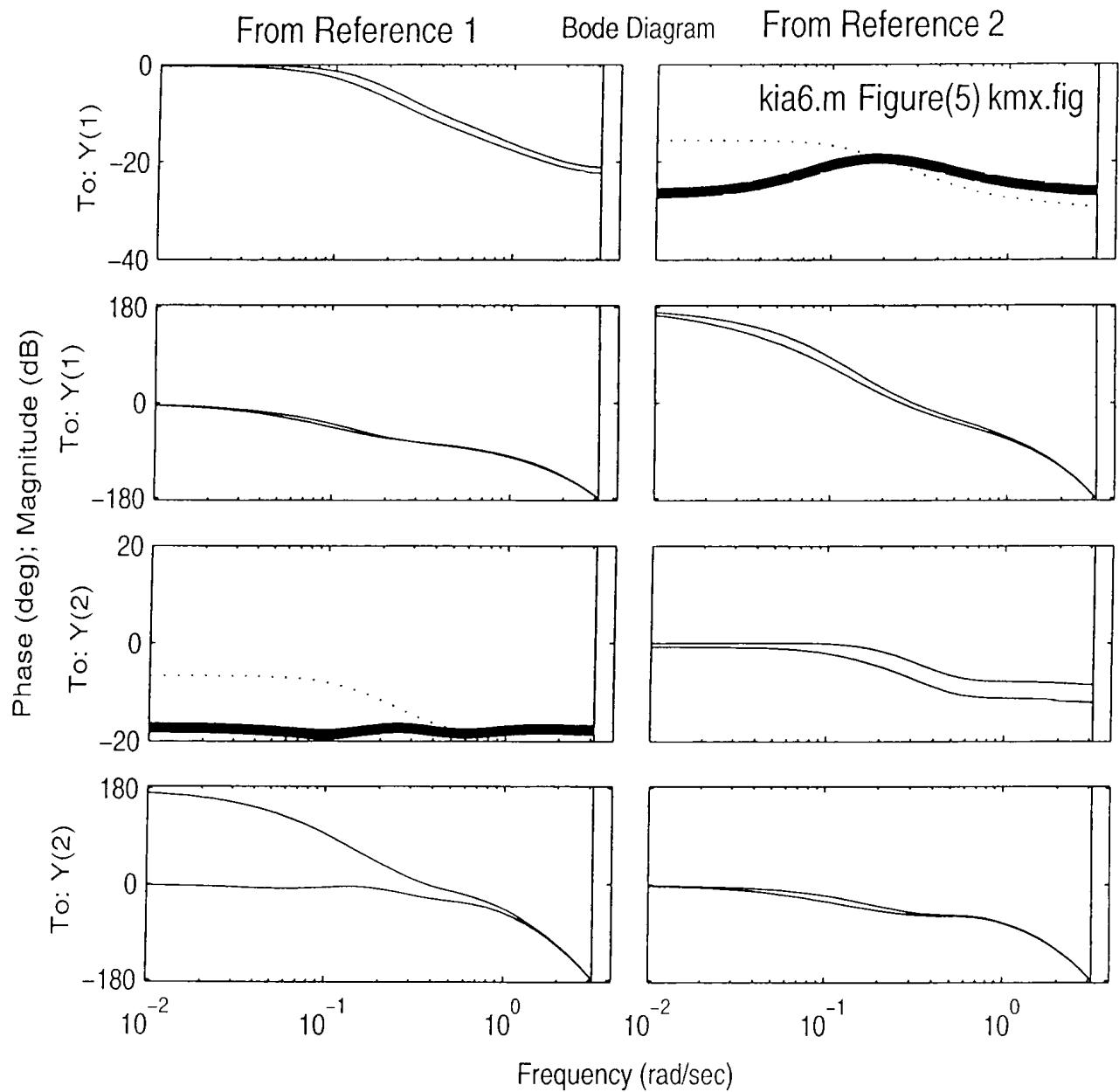


Figure 6: Bode plots of the 24th order system for $r = 14$

Now, modify the controller such that state and output variables are utilized for $r = 2, 6, 10, 14$ in the controller \mathbf{K}_y . Increasing the number of decoupling steps, the only result is some small balancing between the small cross energy values although very small, yet. Surprisingly, the influence of varying r is low, see Fig. 7.

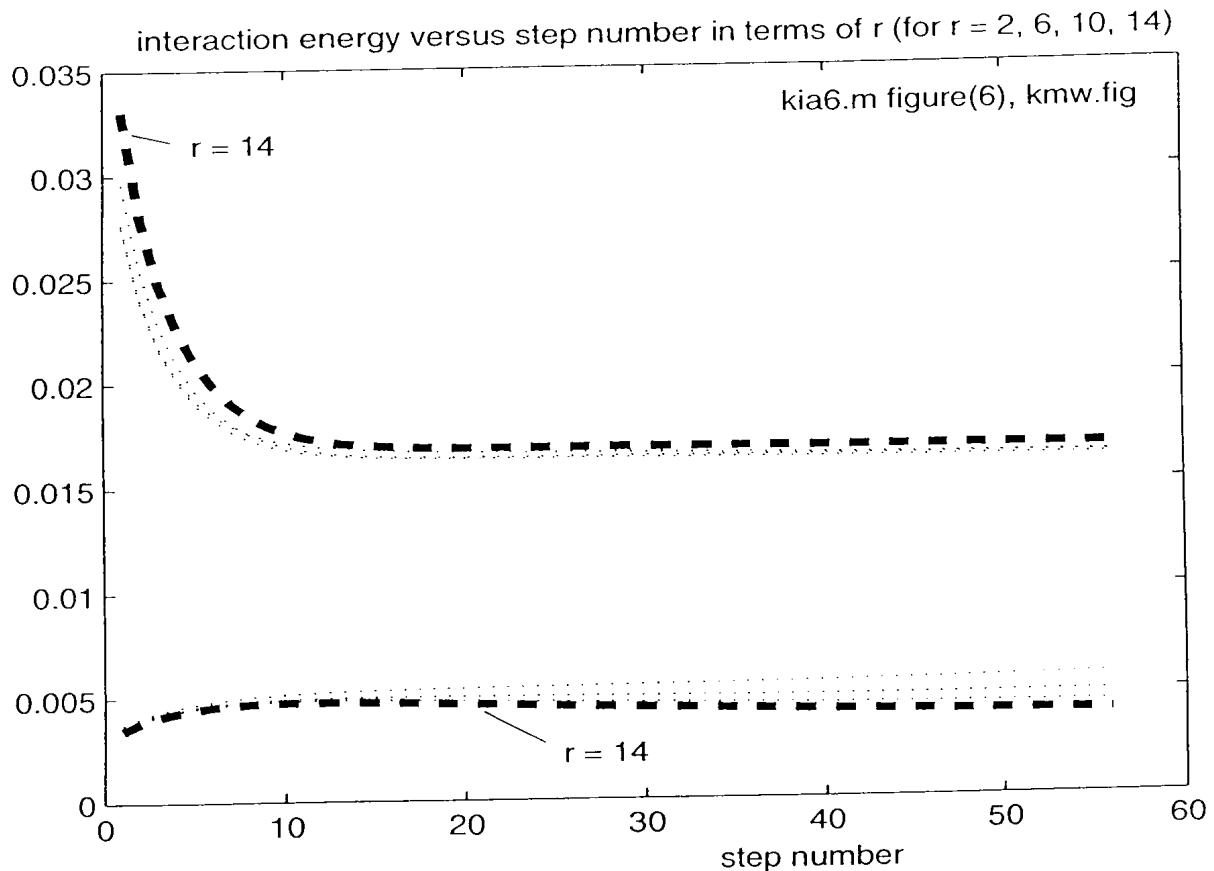


Figure 7: Influence of r on the cross energy

Example 5. Discrete-time system with three inputs and three outputs:

Consider the multivariable system of tenth order with three inputs and output. An output controller K_y has to be implemented. The sampling interval is $T_s = 0.03$. The step gain is selected as -0.59 .

There are nine transfer functions from the three inputs to the three outputs. Three of them in the main diagonal of the transfer matrix should be uninfluenced, six of them off the main diagonal should be reduced stepwise following the gradient. The total cross energy consists of six parts. Hence, the gradient also consists of six parts.

The decoupling was performed within 26 steps in this example. The detailed data of the set-up, the initial data and the final data after 26 steps are as follows:

Matrix A =

-14.2000	-8.4060	0	0	0	0	0	0	0	0
8.4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.1190	-11.3600	-6.7248	0	0	0	0	0	0
0	0	6.7248	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.1487	-8.5200	-5.0436	0	0	0	0
0	0	0	0	5.0436	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.1983	-5.6800	-3.3624	0	0
0	0	0	0	0	0	3.3624	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.2974	-2.8400	-1.6812
0	0	0	0	0	0	0	0	1.6812	0

Matrix B =

0.1000	0.1000	0.1000
0.1000	0.1000	3.1000
0.1000	0.1000	0.1000
0.1000	0.1000	0.1000
0.1000	0.1000	0.1000
0.1000	0.1000	0.1000
0.1000	0.1000	0.1000
0.1000	0.1000	0.1000
1.1000	0.1000	0.1000
0.1000	1.1000	0.1000
0.1000	3.1000	0.1000

Matrix C =

Matrix Phi =

0.6292	-0.2032	0	0	0	0	0	0	0
0.2032	0.9724	0	0	0	0	0	0	0
0.0003	0.0030	0.6950	-0.1698	0	0	0	0	0
0.0000	0.0003	0.1698	0.9818	0	0	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0004	0.0039	0.7648	-0.1330	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.1330	0.9895	0	0	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0054	0.8388	-0.0926	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0926	0.9952	0
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0085	0.9171 -0.0483
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0483 0.9988

Matrix Psi =

0.0021	0.0021	-0.0078
0.0033	0.0033	0.0924
0.0023	0.0023	0.0024
0.0033	0.0033	0.0033
0.0024	0.0024	0.0024
0.0032	0.0032	0.0032
0.0012	0.0026	0.0026
0.0331	0.0031	0.0031
0.0029	0.0294	0.0028
0.0031	0.0938	0.0031

Matrix Ky initially =

-0.5000	-0.5000	-0.5000
-0.5000	-0.5000	-0.5000
-0.5000	-0.5000	-0.5000

Matrix Ky finally =

-0.5557	-0.3944	-0.4258
-0.1703	-0.8706	0.0057
-0.2964	-0.0579	-0.7754

Eigenvalues initially:

0.6424 + 0.1238i	0.6790 + 0.1744i
0.6424 - 0.1238i	0.6790 - 0.1744i
0.8381 + 0.0907i	0.6983
0.8381 - 0.0907i	0.8385 + 0.0905i
0.8766 + 0.0706i	0.8385 - 0.0905i
0.8766 - 0.0706i	0.8771 + 0.0709i
0.9333 + 0.0369i	0.8771 - 0.0709i
0.9333 - 0.0369i	0.9115 + 0.0569i
0.9048 + 0.0512i	0.9115 - 0.0569i
0.9048 - 0.0512i	0.9175

Eigenvalues finally:

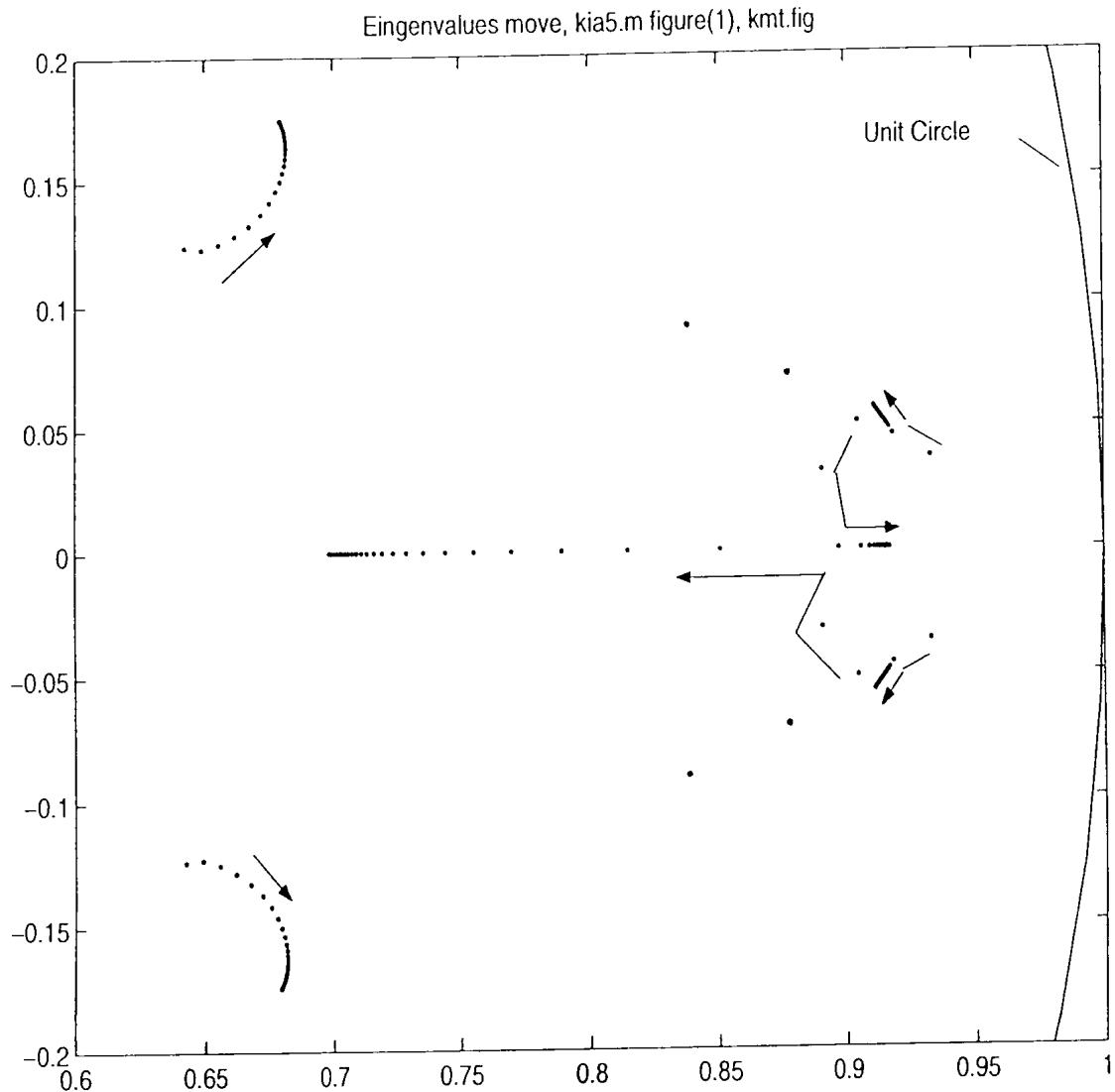


Figure 8: Move of the eigenvalues in the complex z -plane for Example 5

The move of the eigenvalues while the 26 steps is depicted in Fig. 8.

The Nyquist plots corresponding to the total transfer function of the closed-loop system (from the reference to the plant's output y) is given in Fig. 9. Note the significant reduction especially of three elements of the off-diagonal plots, emphasized in width and dotted.

For the sake of illustration, the step responses from the references' input to the plant's output are demonstrated in Fig. 10.

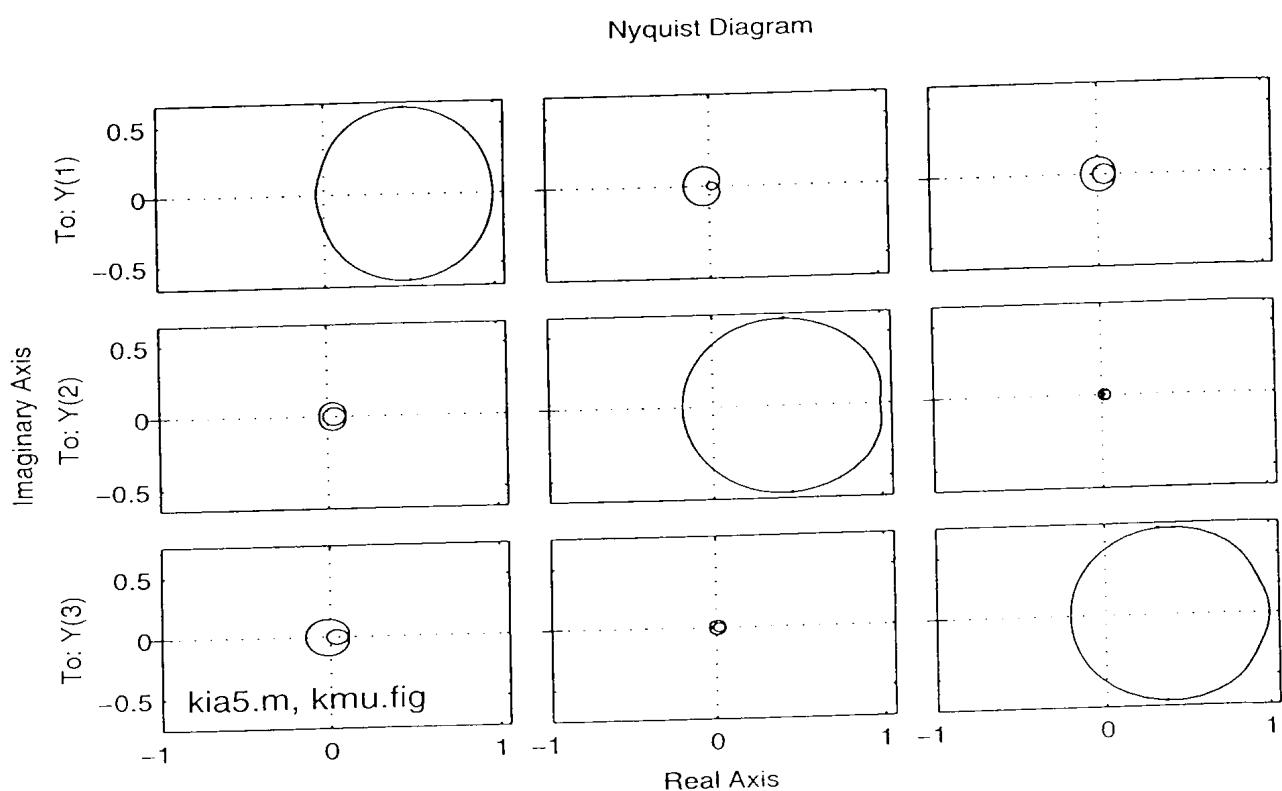
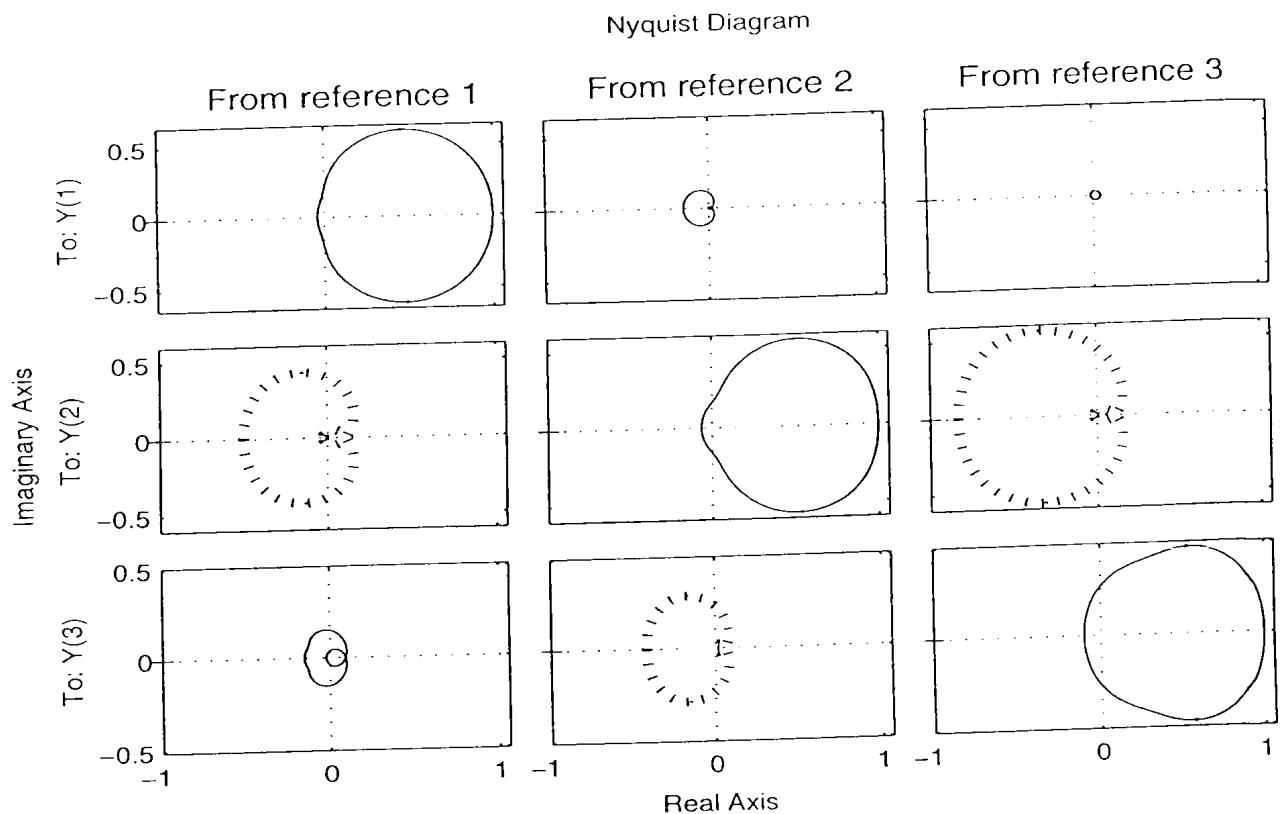


Figure 9: Nyquist plots, before and after reduction, upper and lower diagram,
 respectively, for Example 5

kia5.m, kmv.fig

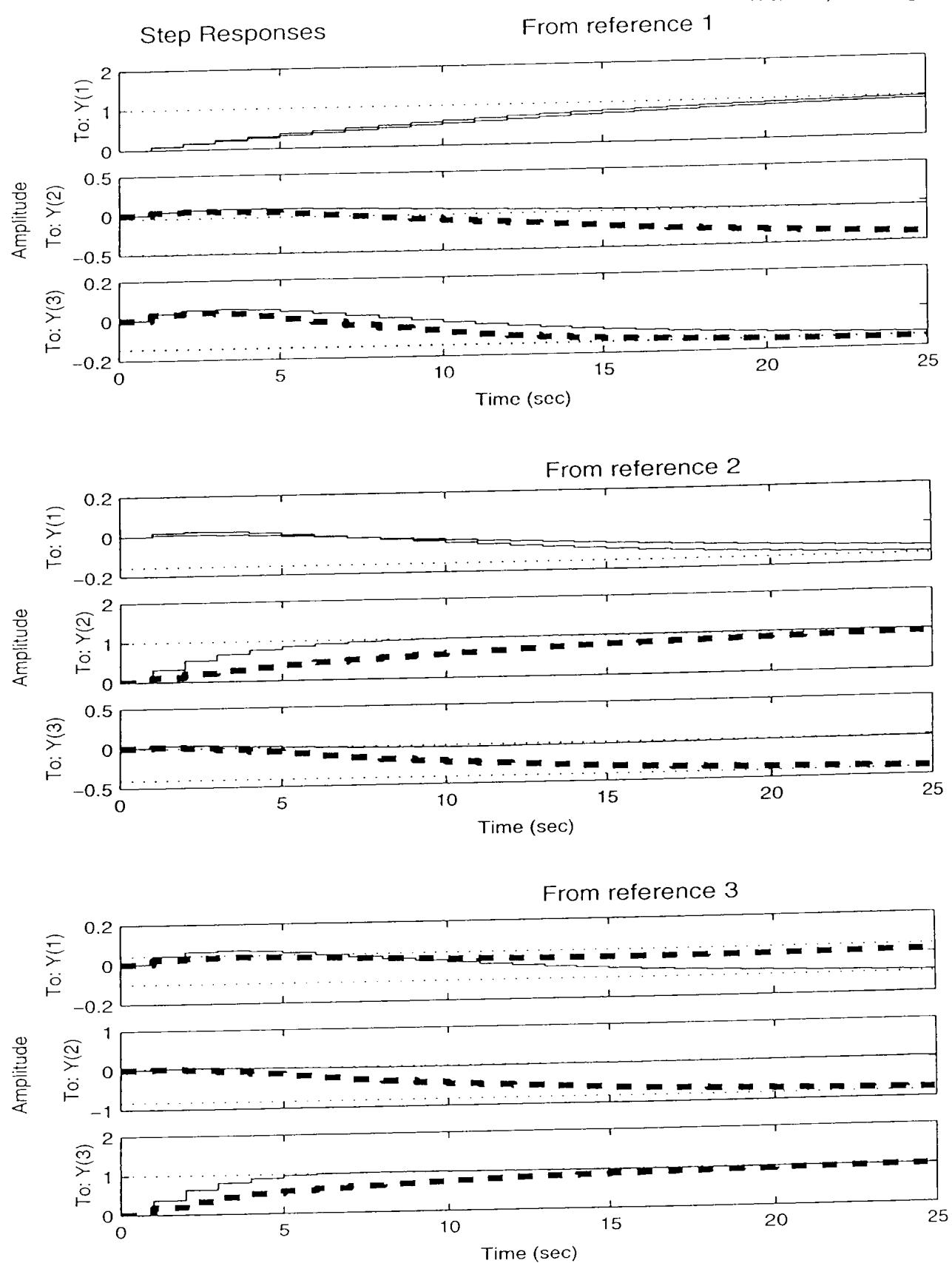


Figure 10: Step responses (initial situation: dotted, final result: solid) for Example 5

4 Conclusion

Concise formulas were derived by evaluating the attenuation gradient of the interaction of multivariable systems. Following the gradient step by step, the interaction can be reduced to a remarkable extent. The amount of reduction can be chosen referring to practitioner's intentions.

The results are easily available for systems of arbitrary complexity since the formulas can be handled by ordinary MATLAB routines.

Although it is the energy transfer which is considered with the help of the controllability Gramian only, not only the cross-energy transmission is reduced significantly but also the usual signal transfer behavior is improved.

Five examples are given. Four of them are two-input two-output systems, one of them is a three-input three-output system. Nyquist diagrams and Bode plots are selected to demonstrate the effect of decoupling. For the sake of illustration, step responses are outlined as well.

Appendix

A Abbreviations and Correspondences

To obtain a general survey, correspondences of differentiation and matrix algebra (*Brewer, J. W., 1978; Weinmann, A., 2001*) are displayed in what follows:

$$\frac{\partial \det \mathbf{A}}{\partial e} = \text{tr} \left[\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial e} \text{adj } \mathbf{A} \right]; \quad (30)$$

$$\text{Kronecker matrix } \frac{\partial \mathbf{K}_y}{\partial K_{y,ij}} = \mathbf{E}_{ij} \triangleq \mathbf{e}_i \mathbf{e}_j^T \text{ with unit vector } \mathbf{e}_i; \quad (31)$$

$$\text{tr}[\mathbf{M}\mathbf{E}_{ij}] = M_{ji} = (\mathbf{M}^T)_{ij}; \quad (32)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}^{-1}}{\partial e} = -\mathbf{A}^{-1} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial e} \mathbf{A}^{-1}; \quad (33)$$

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{M}} \mathbf{A}(\mathbf{M}) \mathbf{B}^{(n \times m)}(\mathbf{M}) = \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial \mathbf{M}} (\mathbf{I}_s \otimes \mathbf{B}) + (\mathbf{I}_r \otimes \mathbf{A}) \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial \mathbf{M}}, \quad \mathbf{M} \in \mathcal{R}^{r \times s}; \quad (34)$$

$$\mathbf{G}^{(k \times l)} \otimes \mathbf{H}^{(n \times m)} \equiv \mathbf{U}_{kn} (\mathbf{H} \otimes \mathbf{G}) \mathbf{U}_{ml}; \quad (35)$$

$$\mathbf{U}_{kn}^T \mathbf{G}^{(k \times l)} \otimes \mathbf{H}^{(n \times m)} \equiv (\mathbf{H} \otimes \mathbf{G}) \mathbf{U}_{ml}; \quad (36)$$

$$\text{orthonormal permutation matrix } \mathbf{U}_{kl}^{(kl \times kl)} \triangleq \sum_i^k \sum_j^l \mathbf{E}_{ij}^{(k \times l)} \otimes (\mathbf{E}_{ij}^{(k \times l)})^T. \quad (37)$$

References

- Brewer, J. W., 1978, Kronecker products and matrix calculus in system theory. *IEEE Transactions CAS-25*: 772-781.
- Conley, A., and Salgado, M.E., 2000, Gramian based interaction measure, *39th IEEE Conference on Decision and Control*, pp. 5020-5022
- Kuo, B.C., 1992, Digital control systems, 2nd Ed., (Saunders College Publ.)
- Weinmann, A., 2001, Gradients of norms, traces and determinants for automatic control applications. *International Journal Automation Austria* **9**, No. 1/2, pp. 36-50, see <http://www.acin.tuwien.ac.at/IJAA/index.htm>
- Weinmann, A., 2005, Gradients for decoupling continuous-time control systems using the controllability Gramian, *Tagungsband des 14. Steirischen Seminars über Regelungstechnik und Prozeßautomatisierung in Retzhof, 21. Sept. 2005*, S. 99-116

Truncation der Harmonic Transfer Matrices bei der Stabilitätsuntersuchung von linearen zeitperiodischen Systemen

A. Rigler, M. Schuss

Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik

Gusshausstr. 27-29

A - 1040 Wien

Telefon +43 1 58801 37623

Email: schuss@acin.tuwien.ac.at

25.01.2006

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird die Stabilitätsuntersuchung von linearen zeitperiodischen Systemen behandelt. Ausgegangen wird von einer Systembeschreibung mittels Harmonic Transfer Matrices (HTM), die eine Stabilitätsuntersuchung mit dem verallgemeinerten Nyquistkriteriums für MIMO Systeme ermöglicht.

Der Einfluss des notwendigen Abschneidens (truncation) der Matrizen auf die Stabilitätsuntersuchung stellt den Schwerpunkt dieser Arbeit dar. Es wird ein Verfahren gezeigt, mit dem die benötigte Größe der HTM für eine ausreichend genaue Stabilitätsuntersuchung ermittelt werden kann.

Abstract

This work discusses the stability analysis of linear time periodic systems with the generalized Nyquist stability criterion for MIMO systems. The use of Harmonic Transfer Matrices (HTM) to describe the system makes it possible to use this criterion. The effect of truncation for the stability analysis is the main focus of this work. A method to determine the necessary size of the HTM is described.

1 Einleitung

Eine immer größere Anzahl von Systemen ist mit der klassischen Regelungstheorie für lineare zeitinvariante (LTI) Systeme nicht ausreichend auf Stabilität überprüfbar. Eine

Gruppe dieser Systeme stellen Regelstrecken mit sich zeitlich periodisch ändernden Parametern dar. Diese Systeme werden kurz LTP Systeme (linear time periodic) genannt. Beispiele für lineare zeitperiodische Systeme sind Satelliten im Orbit und Rotorblätter von Helikoptern oder Windrädern.

Die LTP Theorie bietet gegenüber der klassischen LTI Theorie den Vorteil, dass Frequenzverkopplungen berücksichtigt werden. Dies hat dazu geführt, dass immer mehr Systeme, die zur Vereinfachung als zeitinvariante Systeme behandelt wurden, nun als zeitperiodische Systeme modelliert werden. Beispiele hierfür sind die phase-locked loop Klein-signal Analyse [?] und die Modellierung von Wechselspannungsumrichtern [MB00].

Die Stabilität von linearen zeitperiodischen Systemen wurde schon mit zahlreichen Theorien wie der Floquet Theorie, der Lyapunov Theorie, mit Beschreibungsfunktionen und dem Konzept der Harmonic Transfer Matrices (HTM) untersucht.

Das Konzept der Harmonic Transfer Matrices bietet aus zwei Gründen einen interessanten Ansatz. Erstens ist es damit möglich, lineare zeitperiodische Systeme ähnlich wie lineare zeitinvariante Systeme zu behandeln. Zweitens wird es dadurch möglich, mit Hilfe des verallgemeinerten Nyquistkriteriums, die Stabilität eines Regelkreises für eine Familie von Verstärkungsparametern zu ermitteln. Bei den anderen genannten Verfahren kann die Stabilitätsfrage immer nur für einen bestimmten Verstärkungswert beantwortet werden.

Da es sich bei HTMs um unendlich große Matrizen handelt, müssen sie für eine numerische Auswertung auf eine endliche Größe begrenzt werden. Durch dieses Begrenzen wird das System jedoch nicht mehr vollständig beschrieben. Deshalb ist die Genauigkeit der Stabilitätsuntersuchung von der gewählten Größe der HTM abhängig. Es wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem es möglich ist, den Fehler der Stabilitätsuntersuchung bzw. die ausreichende Größe der HTMs grafisch zu ermitteln.

2 Harmonic Transfer Matrices und das verallgemeinerte Nyquistkriterium

Mit dem Konzept der Harmonic Transfer Matrices (HTM) [Wer91, Wei04] ist es möglich, ein lineares zeitperiodisches System als unendlich großes zeitinvariantes Mehrgrößensystem darzustellen. Die HTM der zeitperiodischen Strecke $G(s)$ lautet

$$\tilde{G}(s) = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \tilde{G}_{-2,-2}(s) & \tilde{G}_{-2,-1}(s) & \tilde{G}_{-2,0}(s) & \tilde{G}_{-2,1}(s) & \tilde{G}_{-2,2}(s) & \dots \\ \dots & \tilde{G}_{-1,-2}(s) & \tilde{G}_{-1,-1}(s) & \tilde{G}_{-1,0}(s) & \tilde{G}_{-1,1}(s) & \tilde{G}_{-1,2}(s) & \dots \\ \dots & \tilde{G}_{0,-2}(s) & \tilde{G}_{0,-1}(s) & \tilde{G}_{0,0}(s) & \tilde{G}_{0,1}(s) & \tilde{G}_{0,2}(s) & \dots \\ \dots & \tilde{G}_{1,-2}(s) & \tilde{G}_{1,-1}(s) & \tilde{G}_{1,0}(s) & \tilde{G}_{1,1}(s) & \tilde{G}_{1,2}(s) & \dots \\ \dots & \tilde{G}_{2,-2}(s) & \tilde{G}_{2,-1}(s) & \tilde{G}_{2,0}(s) & \tilde{G}_{2,1}(s) & \tilde{G}_{2,2}(s) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}, \quad (1)$$

wobei zwischen den einzelnen Elementen der Zusammenhang

$$\tilde{G}_{n,m} = G_{n-m}(s + jm\omega_p) \quad (2)$$

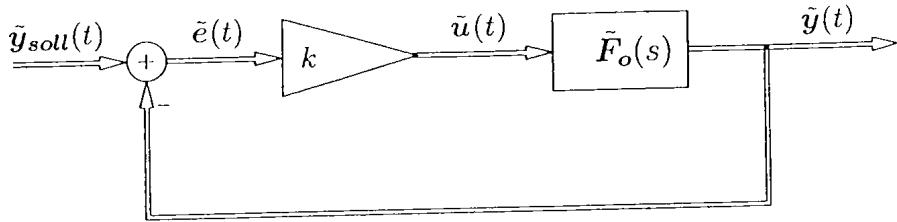


Abbildung 1: Linearer Zeitperiodischer Regelkreis mit der Schleifenübertragungsfunktion $\tilde{F}_o(s)$ und Verstärkung k

besteht. Diese Matrix weist somit Töplitzform auf und die einzelnen Elemente $\tilde{G}_{n,m}$ beschreiben eine Frequenzverkopplung zwischen Ausgangs- und Eingangssignal. Die Kreisfrequenz ω_p wird als Pumpfrequenz bezeichnet. Mit den unendlich großen Spaltenvektoren für Eingangs- und Ausgangssignal

$$\tilde{\mathbf{u}}(s) = \begin{bmatrix} \vdots \\ U_{-2}(s) \\ U_{-1}(s) \\ U_0(s) \\ U_1(s) \\ U_2(s) \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{y}}(s) = \begin{bmatrix} \vdots \\ Y_{-2}(s) \\ Y_{-1}(s) \\ Y_0(s) \\ Y_1(s) \\ Y_2(s) \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad (3)$$

wobei $U_k(s) = U(s + jk\omega_p)$ und $Y_k(s) = Y(s + jk\omega_p)$ sind, gilt:

$$\tilde{\mathbf{y}}(s) = \tilde{G}(s)\tilde{\mathbf{u}}(s). \quad (4)$$

Diese Zusammenhängen ermöglichen, ein lineares zeitperiodisches System mit den Methoden der linearen zeitinvarianten Systemtheorie auf Stabilität zu untersuchen. Das verallgemeinerte Nyquistkriterium [DW80] wurde von Wereley [Wer91] für lineare zeitperiodische Systeme adaptiert und erweist sich als äußerst brauchbar. Mit diesem Verfahren kann das System in Abb. 1 auf Stabilität in Abhängigkeit von der Verstärkung k untersucht werden. Es wird eine Nyquistkontur ζ_s , wie in Abb. 2 dargestellt, gewählt. Für jeden Punkt auf dieser Nyquistkontur werden die Eigenwerte $\lambda_i(s)$ der HTM $\tilde{F}_o(s)$ berechnet. Mit der Anzahl der Umfahrungen dieser Eigenwerte um die reelle Achse und der Anzahl der Pole p von $\tilde{F}_o(s)$ innerhalb der Nyquistkontur kann mit

$$\sum_{i=1}^{\infty} \text{circ}_{(-\frac{1}{k}, j0)_{\text{uzs}}, s \in \zeta_s, \text{uzs}} \lambda_i(s) = -p \quad (5)$$

auf die Gesamtheit der stabilen Werte der Verstärkung k geschlossen werden.

3 Begrenzen der Harmonic Transfer Matrices

Da es sich bei der HTM $\tilde{F}_o(s)$ um eine unendlich große Matrix handelt, muss sie für eine numerische Auswertung auf eine endliche Größe begrenzt werden, als truncation in

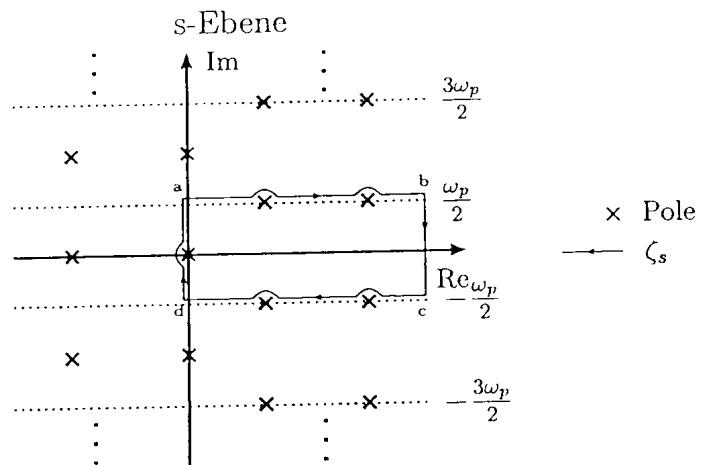


Abbildung 2: Die Nyquistkontur ζ_s in der s-Ebene

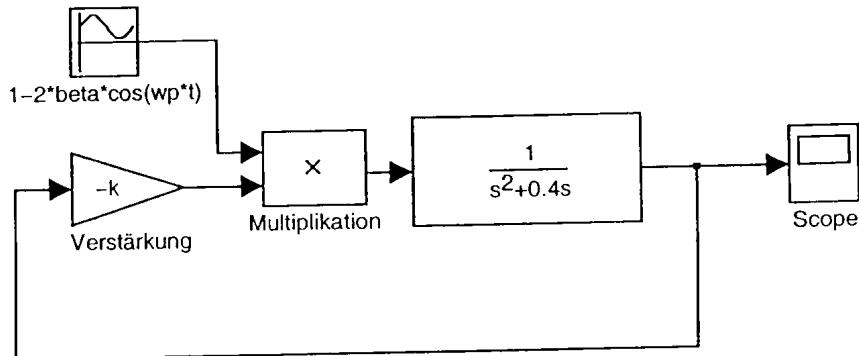


Abbildung 3: Matlab/Simulink Blockschaltbild für die Mathieu Gleichung

Fachkreisen bekannt. Durch dieses Begrenzen wird das System nicht mehr vollständig beschrieben. Die Genauigkeit der Stabilitätsuntersuchung hängt von der gewählten Größe der HTM $\tilde{F}_o(s)$ ab und steigt mit der Größe der HTM. Betrachtet man das Beispiel der Mathieugleichung

$$\ddot{x}(t) + 2\zeta\dot{x}(t) + (a - 2q \cos(\omega_p t)) x(t) = 0 \quad (6)$$

für $\beta = 0,75$, $\zeta = 0,2$ und die Pumpfrequenz $\omega_p = 2\text{s}^{-1}$, so ist dieses System für die Verstärkungen $k = [7, 75 \dots 9, 16]$ stabil. Dieser Stabilitätsbereich wurde mit dem Matlab/Simulink Modell in Abb. 3 experimentell ermittelt. Abb. 4 zeigt die dazugehörigen Nyquistdiagramme für die Größen 7×7 und 9×9 der HTM $\tilde{F}_o(s)$. Zusätzlich ist der, in der Simulation ermittelte, Stabilitätsbereich eingezeichnet. Man erkennt die Auswirkungen des Begrenzens der HTM auf die Genauigkeit der Stabilitätsuntersuchung. Bei der Größe 7×7 schließen sich die Eigenwerte nicht (Abb. 4a) bzw. liefern eine falsche Stabilitätsaussage (Abb. 4b). Erst ab der Größe 9×9 erhält man eine Stabilitätsaussage hoher Genauigkeit.

Die notwendige Größe der HTM für eine ausreichende Genauigkeit der Stabilitätsun-

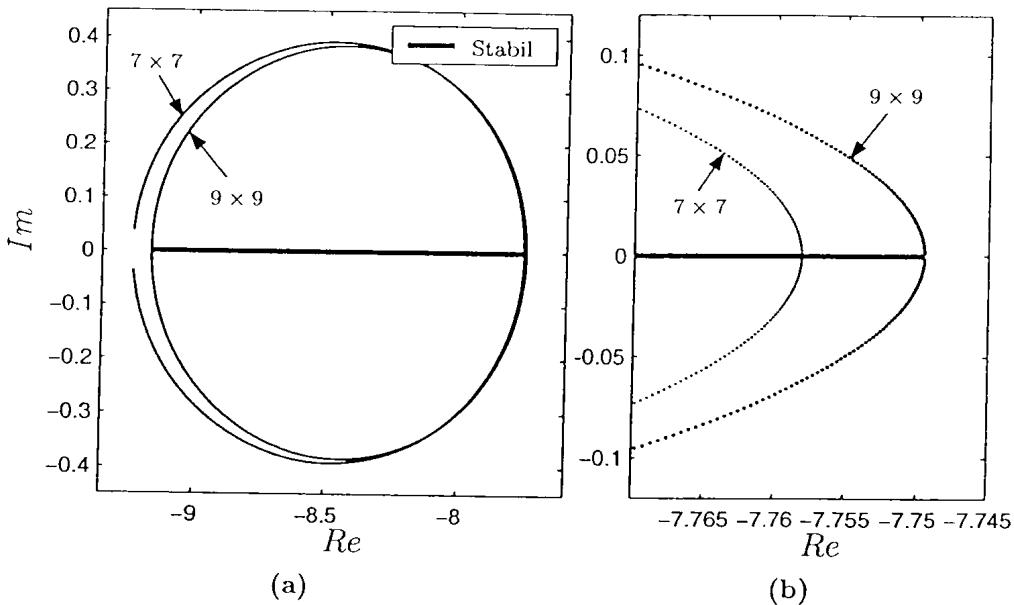


Abbildung 4: (a) Vergleich der Eigenwerte des inversen Nyquistdiagramms der Mathieu Gleichung ($\beta = 0,75$; $\zeta = 0,2$; $\omega_p = 2s^{-1}$) für die Größen 7×7 , 9×9 der HTM $\tilde{F}_o(s)$; (b) Detailausschnitt

tersuchung ist von Faktoren wie der Pumpfrequenz und der Wahl der Nyquistkontur ζ_s in der s-Ebene stark abhängig. Es zeigt sich auch, dass die notwendige Größe der HTM sehr stark von dem untersuchten Verstärkungsbereich abhängt. Untersucht man bei dem vorhergehenden Beispiel Bereiche größerer Verstärkung, so stellt man fest, dass eine wesentlich größere HTM gewählt werden muss. Abb. 5 zeigt das Nyquistdiagramm für den Bereich $k = [41,8 \dots 42,6]$. In diesem Bereich liegt auch ein Gebiet stabiler Werte von k . Das Nyquistdiagramm für die Größe 13×13 von $F_o(s)$ liefert ein sehr ungenaues Ergebnis, bei dem instabile Bereiche als stabil ausgewiesen werden. Bei der Größe 15×15 erhält man ein wesentlich genaueres Ergebnis, ab der Größe 17×17 stimmen experimentell ermittelter und durch das Nyquistdiagramm ausgewiesener Stabilitätsbereich hervorragend überein. Den Zusammenhang zwischen maximal betrachteter Verstärkung k_{max} und erforderlicher Größe von $\tilde{F}_o(s)$ zeigt Abb. 6 für die Mathieugleichung. Dabei wird jene Größe der HTM angegeben, ab der die Abweichung zwischen experimentell ermittelter ($k_{stab,exp}$) und durch das Nyquistdiagramm ausgewiesener ($k_{stab,ny}$) Stabilitätsgrenze

$$|k_{stab,exp} - k_{stab,ny}| \leq 0,01 \quad (7)$$

ist. Diese Ergebnisse bedeuten jedoch nicht, dass zur Ermittlung eines bestimmten Verstärkungswerts k nur diese Größe der HTM zu einer richtigen Stabilitätsaussage führt. Es ist vielmehr so, dass *sämtliche* Stabilitätsgrenzen bis zu diesem k mit hoher Genauigkeit ermittelt werden können.

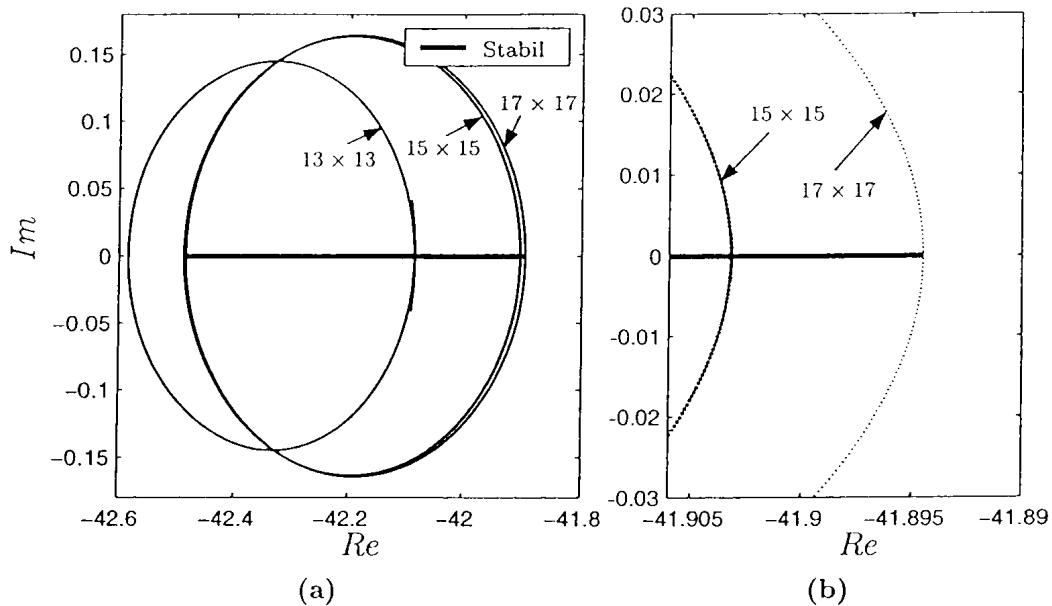


Abbildung 5: (a) Vergleich der Eigenwerte des inversen Nyquistdiagramms der Mathieu Gleichung ($\beta = 0,75$; $\zeta = 0,2$; $\omega_p = 2\text{s}^{-1}$) für die Größen 13×13 , 15×15 und 17×17 der HTM $\tilde{\mathbf{F}}_o(s)$; (b) Detailausschnitt

4 Abschätzen der benötigten Größe der HTM

Die Abhängigkeit der benötigten Größe der HTM von der Verstärkung k ist interessant, da die Verstärkung k nicht in die Berechnung von $\tilde{\mathbf{F}}_o(s)$ und damit nicht in die Berechnung der Eigenwerte $\lambda_i(s)$ für das Nyquistdiagramm eingeht. Versuche, aus dem Bodediagramm von $k\tilde{\mathbf{F}}_o(s)$ auf die benötigte Größe der HTM zu schließen blieben erfolglos.

Aus diesem Umstand wurde der Ansatz gemacht, die Auswirkung von k auf die Übertragungsfunktion $\tilde{\mathbf{T}}(s)$ des gesamten Regelkreises zu untersuchen:

$$\tilde{\mathbf{T}}(s) = \left(I + k \tilde{\mathbf{F}}_o(s) \right)^{-1} k \tilde{\mathbf{F}}_o(s), \quad (8)$$

wobei I die Einheitsmatrix ist. Durch die Inversion von $(I + k \tilde{\mathbf{F}}_o(s))$ kommt es zu einer Besetzung der Nebendiagonalen, wobei k einen starken Einfluss nimmt.

Bei der Anwendung des Nyquistkriteriums wird die Nyquistkontur ζ_s gemäß Abb. 2 durchfahren und die Eigenwerte für jeden Punkt auf dieser Kurve berechnet. Wobei der Bereich $s \in (-j\frac{\omega_p}{2}, j\frac{\omega_p}{2})$ ausreichend ist. Integriert man nun jedes Element von $\tilde{\mathbf{T}}(s)$ über diesen Bereich:

$$\tilde{T}_{n,m} = \int_{-j\frac{\omega_p}{2}}^{j\frac{\omega_p}{2}} \left| \tilde{\mathbf{T}}_{n,m}(s) \right| ds \quad (9)$$

so erhält man einen Einblick, wie stark jedes Element $\tilde{T}_{n,m}(s)$ auf die Berechnung der Eigenwerte von $\tilde{\mathbf{T}}(s)$ Einfluss nimmt. Damit können die Auswirkungen der Begrenzung der HTM in Abhängigkeit von k sehr gut abgeschätzt werden. Zur besseren Veranschaulichung wurden die Ergebnisse normiert, wobei $\max(\tilde{T}_{n,m}) = 1$ gesetzt wurde. Die Abb. 7 und Abb.

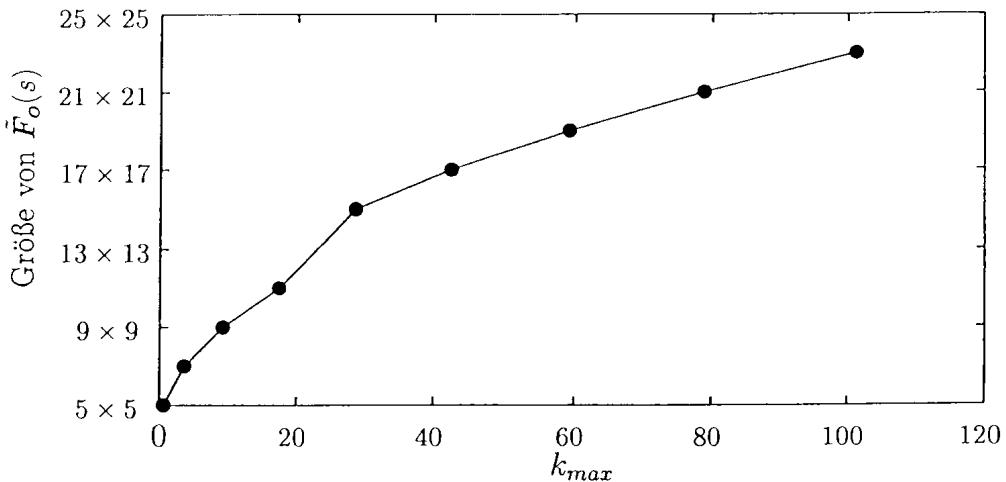


Abbildung 6: Abhängigkeit der benötigten Größe der HTM $\tilde{F}_o(s)$ von der maximalen Verstärkung k_{max} für die Mathieu Gleichung ($\beta = 0,75$; $\zeta = 0,2$; $\omega_p = 2s^{-1}$)

8 zeigen die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ in einem dreidimensionalen Diagramm für die Verstärkungen $k = 7,755$ und $k = 41,9$. Auf der x- und y-Achse sind die entsprechenden Größen der HTM eingetragen, die z-Achse stellt die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ dar. Man erkennt sehr deutlich den Einfluss von k auf die Elemente von \tilde{T} . Bei der Verstärkung $k = 7,775$ (Abb. 7) gibt es ab der Größe 9×9 keine nennenswerten Elemente $\tilde{T}_{n,m}$ mehr. Bei Begrenzung auf die Größe 7×7 bzw. 5×5 wird ein beträchtlicher Anteil abgeschnitten, was dem Ergebnis aus Abb. 4 entspricht. Bei $k = 41,9$ hat sich die Anzahl der relevanten Elemente von \tilde{T} beträchtlich erhöht (Abb. 8). Erst ab der Größe 17×17 werden alle relevanten Elemente berücksichtigt. Dieses Ergebnis entspricht wiederum Abb. 5. Auch die Einflüsse der Pumpfrequenz oder der Wahl der Nyquistkontur ζ_s in der s-Ebene auf die notwendige Größe der HTM können auf diese Weise untersucht werden.

Dieses Verfahren eignet sich auch sehr gut zum Abschätzen des Genauigkeitsgewinns der Stabilitätsuntersuchung durch Erhöhen der Größe der HTM. Betrachtet man ein System entsprechend dem der Mathieugleichung aus Abb. 3 und nimmt die Periodizität nicht sinusförmig sondern rechteckförmig $p(t) = 1 + rect(\frac{2\pi}{\omega_p} t)$ an, so erhält man aufgrund der Fourierreihenentwicklung eine HTM $\tilde{F}_o(s)$, bei der unendlich viele Nebendiagonalen besetzt sind. Damit wirkt sich das Begrenzen der HTM viel stärker auf die Genauigkeit der Stabilitätsuntersuchung aus, als bei sinusförmiger Periodizität. Abb. 10 zeigt die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ bei einer Verstärkung von $k = 41,1$ und rechteckförmiger Periodizität. Die größten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ konzentrieren sich innerhalb einer HTM der Größe 15×15 und fallen dann mit steigender Größe langsam ab. Abb. 10 zeigt die zugehörigen Nyquistdiagramme für die Größen 15×15 , 31×31 und 45×45 . Es ist, wie aus Abb. 10 zu erwarten, eine wesentlich höhere Größe als bei sinusförmiger Periodizität notwendig. Bei der Größe 15×15 liefert das Nyquistdiagramm noch ein sehr ungenaues Ergebnis (Abb. 10a). Die Nyquistdiagramme für die Größen 31×31 und 45×45 liefern schon wesentlich genauere Ergebnisse als bei 15×15 , die Stabilitätsgrenzen werden jedoch noch immer nicht sehr genau ermittelt (Abb. 10b). Man erkennt auch, dass der wesent-

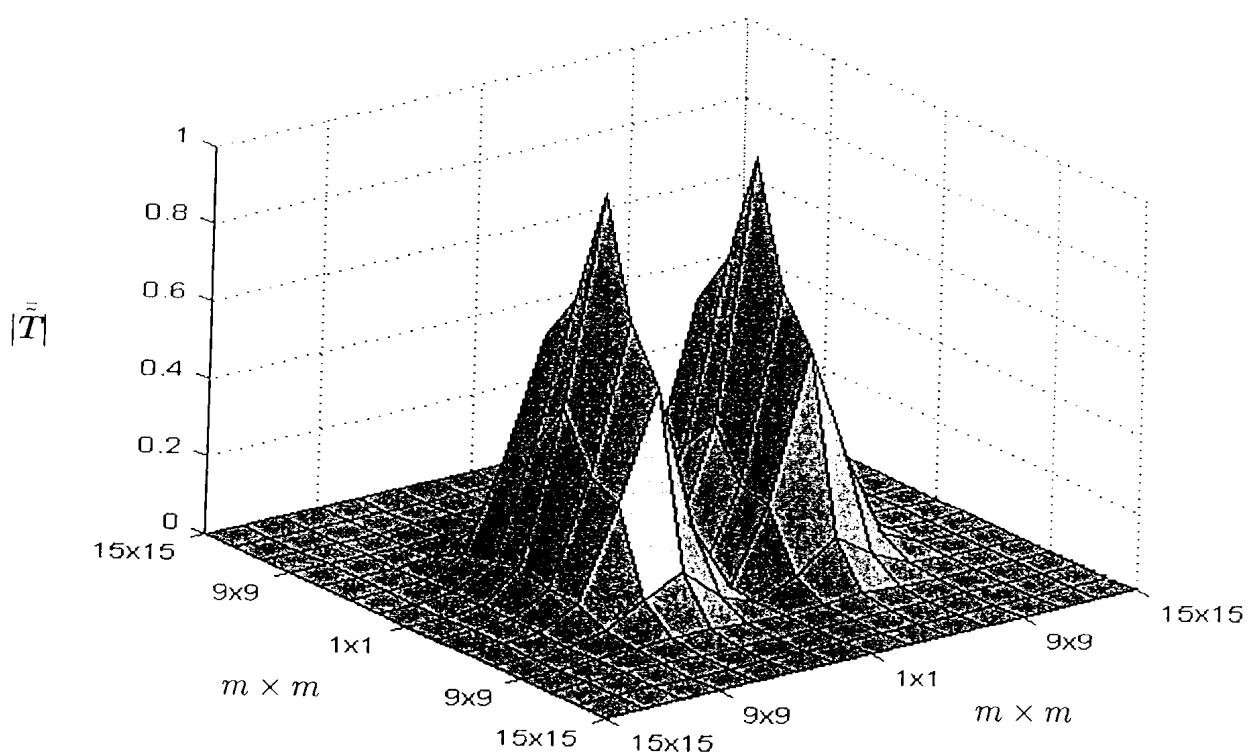


Abbildung 7: Die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ für $k = 7,755$

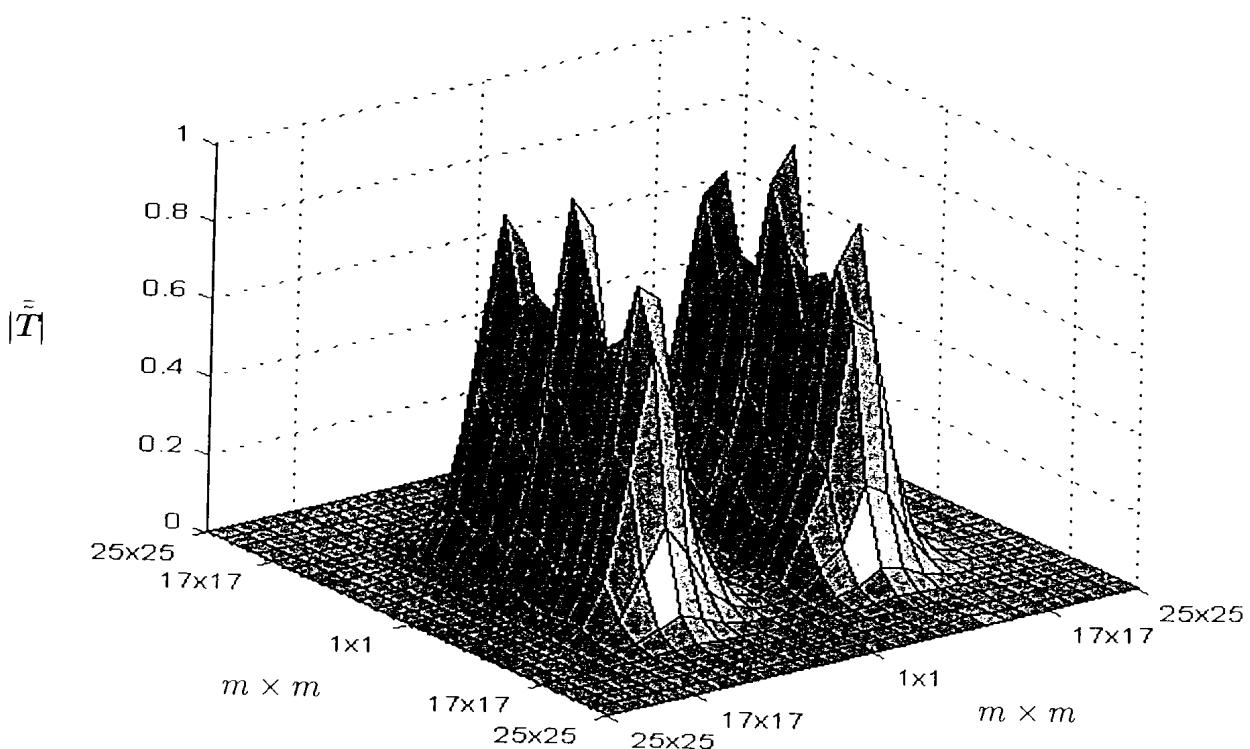


Abbildung 8: Die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ für $k = 41,9$

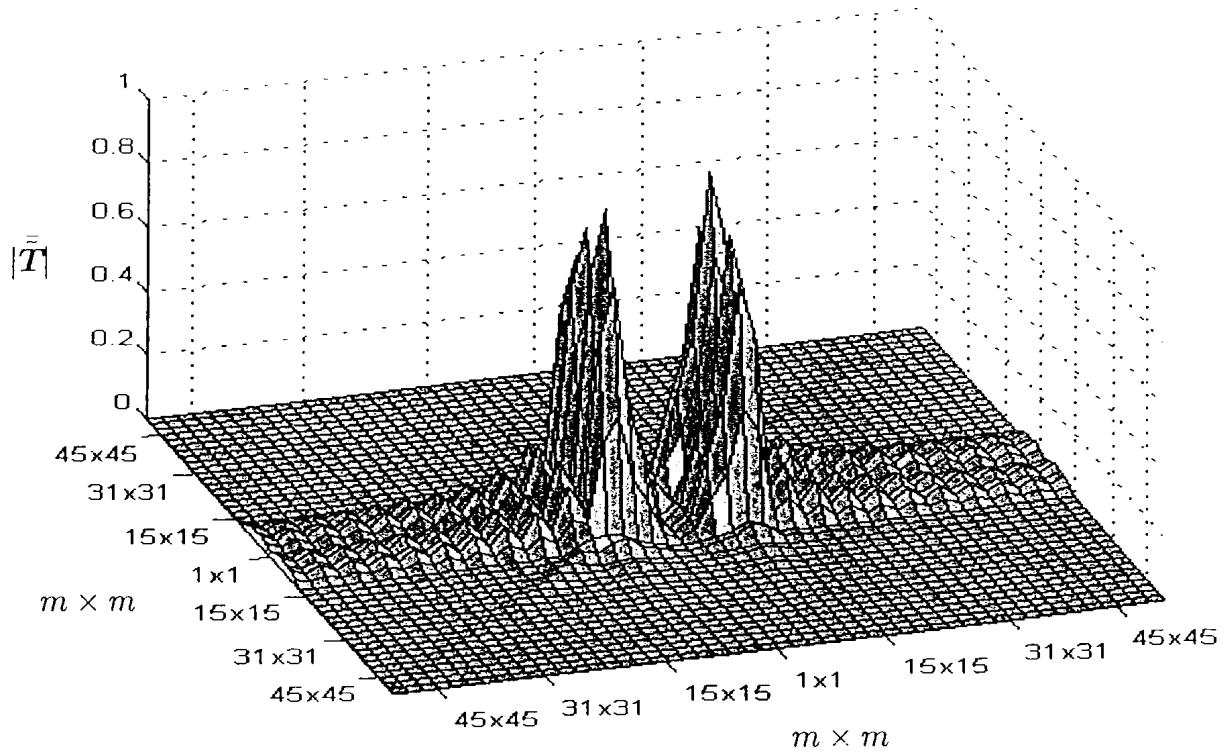


Abbildung 9: Die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ für $k = 41, 1$ und rechteckförmige Periodizität

lich höhere Rechenaufwand bei der Größe 45×45 nur eine kleine Genauigkeitserhöhung gegenüber der Größe 31×31 liefert. Diese Zusammenhänge können auch sehr gut aus Abb. 9 abgelesen werden. Das Diagramm der normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ kann somit auch zum Abschätzen des Verhältnisses von Rechenaufwand zu Gewinn der Genauigkeit der Stabilitätsaussage verwendet werden.

Das Verfahren kann auch für lineare zeitperiodische Mehrgrößensysteme verwendet werden. Abb. 11 zeigt ein Matlab Simulink Modell eines zeitperiodischen Zweigrößensystems. Die Zeitperiodizität wird durch zwei periodische Signale $p_1(t) = \sin(2s^{-1}t)$ und $p_2(t) = \sin(4s^{-1}t) + \sin(6s^{-1}t)$, die an unterschiedlichen Stellen das System beeinflussen, modelliert. Es wurden die HTMs der einzelnen Elemente dieses Systems berechnet und damit $\tilde{F}_o(s)$ entsprechend der Struktur des Systems ermittelt. Danach wurde $\tilde{T}(s)$ für die Verstärkung $k = 74$ berechnet und die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ in einem Diagramm dargestellt (Abb. 12). Die HTMs der einzelnen Elemente wurden auf die Größe 25×25 begrenzt, was zu der Größe 50×50 von $\tilde{T}(s)$ führt. Man erkennt, dass nur die Größen der einzelnen HTMs, mit denen $\tilde{F}_o(s)$ berechnet wird, entscheidend sind. Erhöht man die Größe der HTMs, so wandern die relevanten Teile der einzelnen HTMs voneinander weg. Die Form der Berge bleibt jedoch gleich. Ab der Größe 15×15 sind bei jedem Berg in

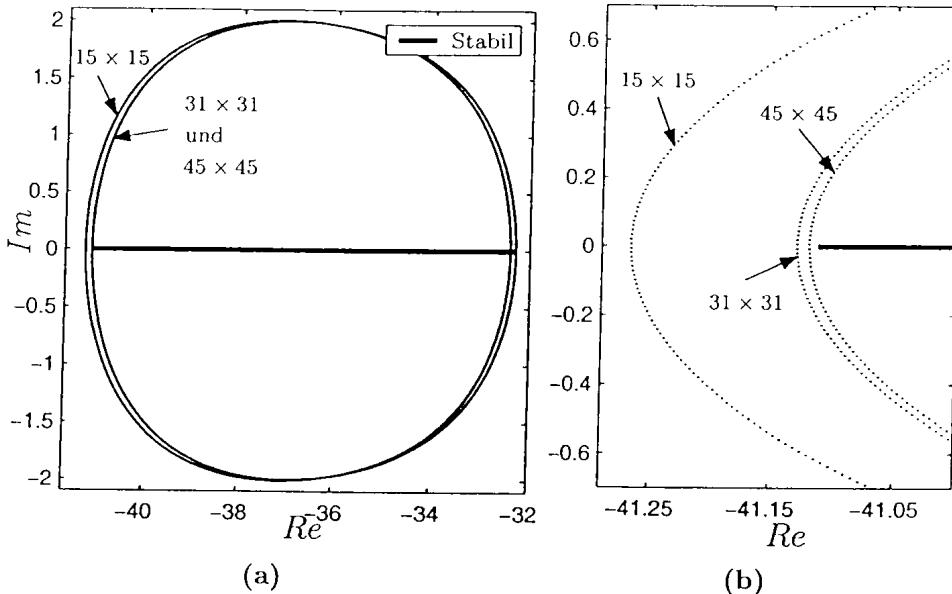


Abbildung 10: (a) Vergleich der Eigenwerte des inversen Nyquistdiagramms des Systems nach Abb. 3 mit rechteckförmiger Periodizität $p(t) = 1 + \text{rect}(\frac{2\pi}{\omega_p})$ für die Größen 15×15 , 31×31 und 45×45 der HTM $\tilde{F}_o(s)$; (b) Detailausschnitt

diesem Diagramm alle relevanten Teile enthalten und die Stabilitätsuntersuchung liefert ein Ergebnis hoher Genauigkeit. Dieses Resultat deckt sich mit den Ergebnissen aus dem Nyquistkriterium.

5 Zusammenfassung

Mit Harmonic Transfer Matrices (HTM) können lineare zeitperiodische Systeme mit Methoden der linearen zeitinvarianten Mehrgrößen-Systemtheorie, wie z.B. dem verallgemeinerten Nyquistkriterium, auf Stabilität untersucht werden. Die Matrizen müssen jedoch auf eine endliche Größe begrenzt werden, um mit ihnen rechnen zu können.

Es konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass die benötigte Größen der HTMs von der maximalen zu untersuchenden Verstärkung k_{max} der Regelung abhängt. Abb. 6 zeigt diesen Zusammenhang für die Mathieu Gleichung. Umso größer die betrachtete maximale Verstärkung ist, desto größer muss auch die Dimension der HTM sein, um die gleiche Genauigkeit der Stabilitätsuntersuchung zu erreichen.

Es wurde ein Verfahren vorgestellt, mit dem es möglich ist, durch Berechnung der Übertragungsfunktion $\tilde{T}(s)$ des gesamten Regelkreises für die maximale zu untersuchende Verstärkung k_{max} , die für die Stabilitätsuntersuchung ausreichende Dimension abzuschätzen. Dieses Verfahren ist auch auf lineare zeitperiode Mehrgrößenssysteme anwendbar und ermöglicht das Abschätzen des Genauigkeitsgewinns in Abhängigkeit des Rechenaufwandes.

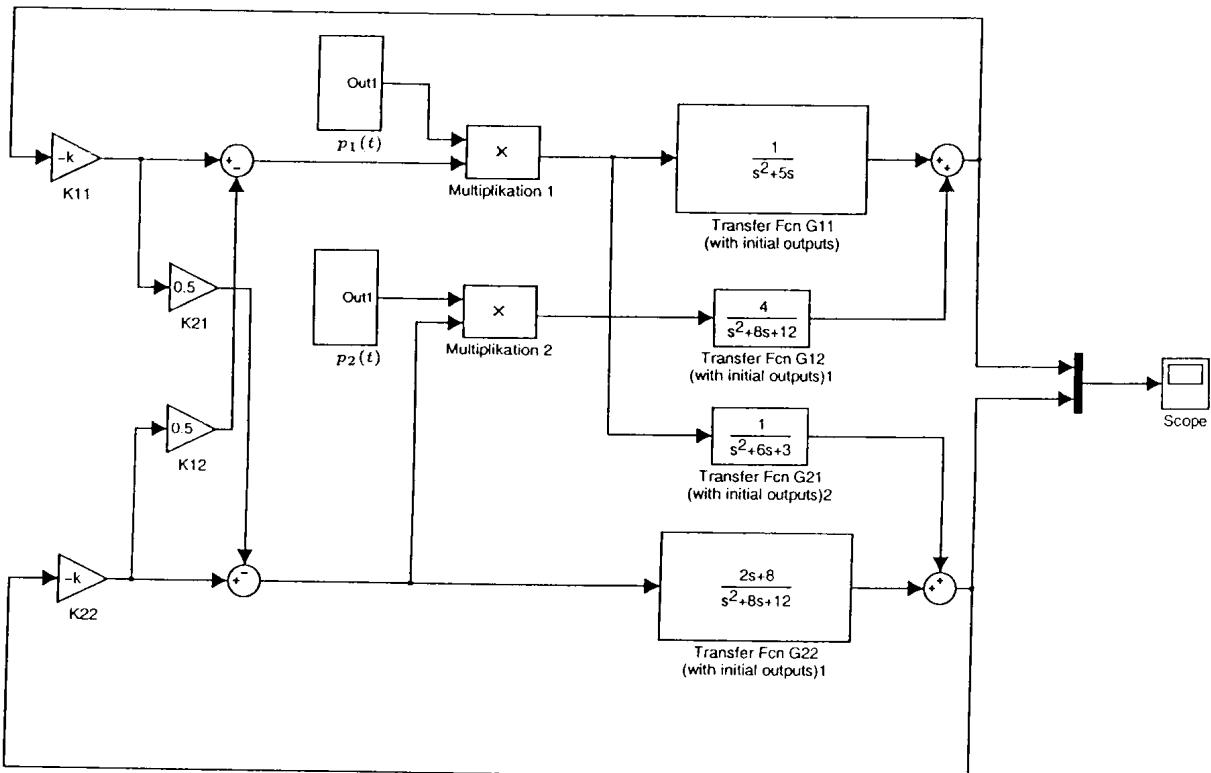


Abbildung 11: Blockschaltbild in *Matlab/Simulink* eines MIMO Systems mit den Multiplikationen $p_1(t) = \sin(2s^{-1}t)$ und $p_2(t) = \sin(4s^{-1}t) + \sin(6s^{-1}t)$

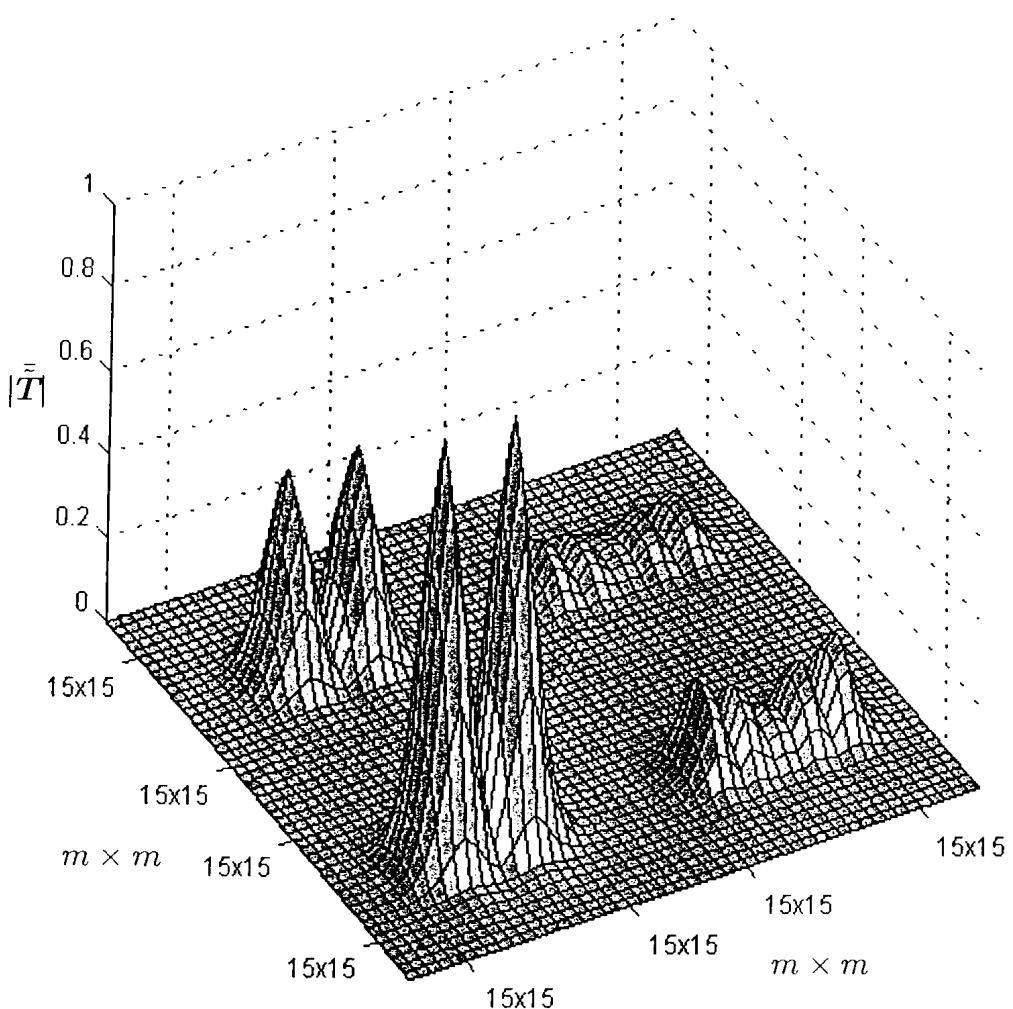


Abbildung 12: Die normierten Beträge von $\tilde{T}_{n,m}$ des MIMO Systems nach Abb. 11 für $k = 74$

Literatur

- [DW80] C. A. Desoer and Y. Wang. On the generalized nyquist stability criterion. *IEEE Trans. on Automatic Control*, 25(2):187–196, April 1980.
- [MB00] E. Möllerstedt and B. Bernhardsson. Out of control because of harmonics; an analysis of the harmonic response of an inverter locomotive. *IEEE Control Systems Magazine*, 20(4):70–81, August 2000.
- [Wei04] A. Weinmann. Linear time-periodic control systems: Robustness and stability analysis using harmonic transfer matrices. *International Journal Automation Austria (IJAA)*, 12(2):93–122, 2004.

- [Wer91] N. Wereley. *Analysis and control of linear periodically time varying systems*. PhD thesis, Dept. of Aeronautics and Astronautics, MIT, 1991.

50 Jahre Österreich und IFAC

Österreich ist Gründungsmitglied der IFAC. Für Österreich unterzeichnete Dr. H. Märzendorfer am 27.09.1956 die „Heidelberger Resolution“ welche zur Gründung der IFAC führte. Als österreichische NMO (National Member Organization) fungierte bis 2004 das ÖPWZ (Österreichisches Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeitszentrum). Die österreichischen Interessen in der IFAC wurden von einem Arbeitskreis „Steuerung und Regelung – IFAC“ wahrgenommen.

Seit 2005 ist die „Österreichische Gesellschaft für Automatisierung und Robotertechnik – ÖGART“ die österreichische NMO.

Am 21. April 1978 wurde auf Initiative von Dipl.-Ing. F. Margulies zwischen der Österreichischen Bundesregierung vertreten durch Frau Bundesminister H. Firnberg und der IFAC ein Abkommen über den ständigen Sitz des IFAC Sekretariates in Laxenburg unterzeichnet und ein Beitrag aus Bundesmitteln zugesagt. Die Österreichische Akademie der Wissenschaften übernahm die steuerliche und buchhalterische Abwicklung der Aktivitäten des IFAC Sekretariates.

Österreich war maßgeblich an der Gründung der „IFAC Technical Committees – TC's“ über „Social Aspects of Automation“ – F. Margulies, 1969 – und „Supplemental Ways for Improving International Stability – SWIIS“ – P. Kopacek, 1983 beteiligt. In Österreich wurden von 1967 bis 2006, 39 internationale und 13 nationale IFAC Veranstaltungen abgehalten. Eine weitere internationale findet im Juni 2006 statt. Österreichische Wissenschaftler und Industrievertreter bekleideten und bekleiden zahlreiche Führungspositionen in der IFAC.

Die österreichische IFAC NMO

1978 wurde der Vorläufer des IFAC Beirates Österreich unter dem Titel ATÖ (Arbeitsgemeinschaft für Automatisierungstechnik in Österreich) gegründet. 1983 ging aus dieser Arbeitsgemeinschaft der IFAC Beirat hervor. Die erste Sitzung des IFAC Beirates fand am 7. Juni 1983 im BMWF statt. Dabei wurde beschlossen, das Plenum solle mindestens 2 x pro Jahr zusammenentreten. Seither finden die jährlichen Sitzungen meist im März und Oktober statt. Die Aktivitäten des IFAC Beirates werden derzeit von einem Gremium, bestehend aus o.Univ.Prof. Dr. W. Schneider (Vertreter der Österreichischen Akademie der Wissenschaften/ TU Wien), MR Mag. R. Goebel (Vertreter des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie), dem Generalsekretär, o.Univ.Prof. Dr. P. Kopacek (TU Wien) und Frau E.Rommens koordiniert.

Der IFAC Beirat ist ein Gremium von ungefähr 30 Fachleuten aus Wissenschaft, Forschung, Industrie und öffentlichen Stellen und hat zwei Hauptaufgaben:

1. Beratung ministerieller Stellen hinsichtlich automatisierungstechnischer Fragen
2. Erkenntnisse auf automatisierungstechnischem Gebiet, die weltweit durch die IFAC gesammelt und verbreitet werden, für die österreichische Industrie – und hier insbesondere für Klein- und Mittelbetriebe – nutzbar zu machen. Diese Erkenntnisse werden überwiegend auf IFAC Workshops, Symposien und Kongressen präsentiert. Die Ergebnisse dieser Veranstaltungen sollen, geeignet aufbereitet, österreichischen Interessenten zugänglich gemacht werden.

Seit 1983 stand – dank des Entgegenkommens des Instituts für Fertigungstechnik der TU Wien – ein Raum an diesem Institut dem IFAC Beirat als Sekretariat zur Verfügung. Am 21. Dezember 1993 übersiedelte der IFAC Beirat in die Räume des „Institutes für Handhabungsgeräte und Robotertechnik – IHRT“ der Technischen Universität Wien in die Floragasse 7a, 1040 Wien. Seit der Übersiedlung des Institutes im Oktober 1999 befindet sich seither das Sekretariat in der Favoritenstrasse 9 – 11, 1040 Wien.

Zur Wahrnehmung der österreichischen Interessen ist der IFAC Beirat in folgenden internationalen Gremien präsent:

- IARP (International Advanced Robotics Programme)
- JCF (Joint Coordinating Forum)
- IFR (International Federation of Robotics)
- IMEKO (International Measurement Confederation)
- IFIP (International Federation for Information Processing)

Die ÖGART wurde im März 2002 als Unterstützungsverein für die Aktivitäten des österreichischen IFAC Beirates gegründet und ist mit diesem personell nahezu identisch. Da der IFAC Beirat im juristischen Sinne keine selbständige Organisation ist, erschien es den Proponenten des Vereins (Dr. N. Rozsenich, Prof. Dr. A. Weinmann und Prof. Dr. P. Kopacek) zweckmäßig, diese Aktivitäten – insbesondere zur wirksamen Vertretung der österreichischen Interessen in der internationalen scientific community – auf eine stabile rechtliche Grundlage zu stellen. Die vorerwähnten Proponenten bilden auch derzeit die Führungsspitze der ÖGART.

Zur Nutzung der Erkenntnisse der IFAC für die österreichische Industrie wurden folgende Aktivitäten gesetzt:

International Journal Automation Austria – IJAA.

Im Jahre 1987 erschien erstmals ein hektographiertes Nachrichtenblatt des IFAC Beirates, welches kostenlos an ungefähr 600 Adressaten verschickt wurde. 1989 wurde dieses Nachrichtenblatt – wesentlich umfangreicher – zur Zeitschrift „Automatisierungstechnik in Österreich“ umgewandelt.

Seit April 1989 bestand ein Übereinkommen mit dem ERB-Verlag, nach welchem dem IFAC Beirat in der Zeitschrift „MEGAECH“ 4mal jährlich 8 Seiten und in den übrigen Heften jeweils 1-2 Seiten zur Verfügung standen. Dadurch konnte sowohl die Informationsverteilung kontinuierlicher gestaltet werden als auch ein breiteres Publikum angesprochen werden.

Da das Interesse sehr groß war entschloss sich der IFAC Beirat 1992 eine Zeitschrift mit dem Titel „International Journal Automation Austria – IJAA“, unter der Federführung von A. Weinmann und P. Kopacek, herauszugeben. Diese erscheint seit 1993 zweimal jährlich. Die Zielsetzung ist sowohl auf kontinuierliche wie diskrete Prozesse ausgerichtet., worunter sowohl zeitorientierte Prozesse (time-driven) als auch ereignisdiskrete (event-driven) verstanden werden. Diese Zeitschrift hat sich zwischenzeitlich in Automatisierungskreisen etabliert und soll in nächster Zukunft in den „INSPEC Index“ aufgenommen werden.

Österreichische Automatisierungstage

Grundidee der Österreichischen Automatisierungstage ist es Automatisierungstechnik-Interessierten einmal im Jahr in Form von Kurzreferaten neue Entwicklungstendenzen der Automatisierungstechnik aufzeigen. Bisher wurden 20 Automatisierungstage mit 70 – 300

Teilnehmern organisiert. Diese wurden teilweise durch Produktpräsentationen ergänzt beziehungsweise im Rahmen von Automatisierungsausstellungen (viet) abgehalten.

Internationale, bilaterale Automatisierungstage

Auf Grund der Erfolge der nationalen Automatisierungstage wurden beginnend mit 1997 internationale, bilaterale organisiert. Grundgedanke dieser Automatisierungstage ist österreichischen Firmen und Forschungsinstituten eine internationale Präsentationsplattform zu bieten. Diese Automatisierungstage wurden von der ÖGMA (Österreichische Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik) und dem IFAC Beirat finanziell unterstützt. Bisher wurden 15 Veranstaltungen mit Argentinien, Brasilien, Bulgarien, Rumänien, Slowakei, Tschechien und der Türkei organisiert. Der erste Österreichisch – Koreanische Automatisierungstag findet vom 11 – 13 Mai, 2006 in Korea statt.

Fred Margulies-Preis

Anlässlich des zehnjährigen Bestehens des IFAC Beirates Österreich wurde von diesem zusammen mit der Gewerkschaft der Privatangestellten dieser Preis ins Leben gerufen. Er wird jährlich für hervorragende österreichische Arbeiten auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik, mit besonderer Berücksichtigung der sozialen Aspekte, verliehen. Kriterien für die Bewertung sind im wesentlichen Innovationsgehalt, Wissenschaftlichkeit, wirtschaftliche Bedeutung sowie Interdisziplinarität des Ansatzes und soziale Relevanz. Der Preis in der Höhe von € 4.400,-- pro Jahr wurde bis 2004 je zur Hälfte von den beiden Stiftern geleistet und von einer Jury vergeben, welcher neben Persönlichkeiten aus Wissenschaft und Wirtschaft auch Vertreter der Gewerkschaft angehören. Ab 2005 wird der Preis ausschließlich vom IFAC Beirat vergeben.

Aus- und Weiterbildungsprogramm „Automatisierungstechnik“

Das Aus- und Weiterbildungsprogramm „Automatisierungstechnik“ wurde durch den IFAC Beirat initiiert, um der österreichischen Industrie qualifizierte Fachleute zur Lösung automatisierungstechnischer Problemstellungen zur Verfügung zu stellen. Grundgedanke dieses weltweit richtungweisenden Programms ist die Modularität (der Teilnehmer ist nicht an eine Ausbildungsorganisation gebunden) sowie die Anrechnung von praktischen Kenntnissen für den Einstieg. Im Rahmen dieses Programms konnten der österreichischen Industrie ungefähr 550 qualifizierte Absolventen zur Verfügung gestellt werden. Dieses Programm wurde zwischenzeitlich durch das „Engineering Management“ Programm internationalisiert.

Zusammenfassung und Ausblick

Der IFAC Beirat Österreich und seine Vorgänger haben unter den Generalsekretären F. Margulies und P. Kopacek mit Unterstützung von M. Gottfried, I. Nemetz und E. Rommens versucht ihre beiden Hauptaufgaben – die Automatisierungstechnik in der österreichischen Industrie und hier insbesonders in Klein- und Mittelbetrieben zu popularisieren sowie ministerielle Stellen in automatisierungstechnischen Fragestellungen zu beraten – bestmöglich zu erfüllen.

Zukünftige Aufgaben sind:

- Organisation weiterer IFAC Tagungen in Österreich und in den osteuropäischen Ländern um die österreichische Industrie weiterhin mit aktuellen Entwicklungen vertraut zu machen.
- Erweiterung des österreichischen Automatisierungstages zu einem Automatisierungskongress
- Verstärkte Organisation von bilateralen Automatisierungstagen in Zusammenarbeit mit der österreichischen Industrie um dieser eine internationale Präsentationsplattform zu bieten.
- Mitarbeit bei der Entwicklung von Aus- und Weiterbildungsangeboten in Übereinstimmung mit dem Bologna Prozess.
- Aufwertung der Zeitschrift IJAA durch die Aufnahme in den INSPEC Index als attraktive Publikationsplattform für Industrie und Wissenschaft.

Der IFAC Beirat sowie die ÖGART hoffen mit weiterer materieller und ideeller Unterstützung öffentlicher Stellen, insbesondere des BMVIT und der ÖAW, diese Aufgaben – wie bisher weiterverfolgen zu können.

Eine ausführliche Broschüre "50 years Austria in IFAC" kann beim IFAC Beirat kostenlos angefordert werden.

P.Kopacek

The 3rd International Congress ICPM'2005, International Congress of Precision Machining

18. – 19. October 2005

Festival Hall of Vienna University of Technology, Austria

The congress has been held on October 18 and 19, 2005, in the festive hall of Vienna University of Technology; this is the third scientific event in a series of topical congresses on "**Precision Machining**". The first congress was initiated by Professor F. Holesovsky and a group of scientist from the field of manufacturing technology and production metrology, primarily from the Czech Republic, Poland and Slovakia. It was held in September 2002 in the northern Czech town of Usti nad Labem. At this congress, which was quite sucessful with about 150 participants, it was decided to hold further international "ICPM" congresses every two years.

92 delegates from 14 countries including Austria, namely

- | | |
|------------------|------------|
| - Argentina | - Iran |
| - Aserbeidschan | - Poland |
| - Austria | - Romania |
| - Czech Republic | - Russia |
| - Ethiopia | - Slovakia |
| - Germany | - Turkey |
| - Hungary | - UK, |

participated in that Congress under the patronage of Univ.Prof. Dr.techn.Dr.h.c. Peter SKALICKY, Rector of Vienna University of Technology (TU-Wien).

About thirty percent of the delegates have been young academics and students and it was realized to let them participate without paying a congress fee.

The ICPM'2005-Congress-Proceedings with more than 350 pages are published under ISBN 3-901-888-31-4. About 75 manuscripts have been forwarded to the organizers of the Congress. After thorough review by members of the International Programme Committee 47 full papers have been accepted for publication and presentation from which four have been chosen as Keynote papers. From the other 43 manuscripts 35 have been chosen for oral presentation and eight were presented as posters.

In two years the Faculty of Mechatronics und Machinery Design of Kielce University of Technology, Poland, and its Dean Prof. Dr. Dr.h.c. St. Adamczak will be the organizers of 4th ICPM in 2007. Candidates for future ICPM's are:

- 2009 Miskolc, Hungary
- 2011 Kosice, Slovakia
- 2013 Cluj-Napoca, Romania
- 2015 Istanbul, Turkey
- 2017 Buenos Aires, Argentina.

Lit.: Afjehi-Sadat, A., Durakbasa, N.M., Osanna, P.H. (Editors): Proceedings of 3rd International Congress of Precision Machining - ICPM'2005. 2005, Wien: Abteilung Austauschbau und Messtechnik, ISBN 3-901-888-31-4, 346 pp

Authors: P.H. Osanna, N.M. Durakbasa, A. Afjehi-Sadat

Embedded Robotics - Das Praxisbuch

T. Gockel, R. Dillmann, A. Bierbaum, A. Piaseczki, J. Schröder, P. Azad

Elektor Verlag, Aachen, 1. Auflage 2005
319 Seiten
ISBN 3-89576-155-9

Das Buch ist aus begleitenden Unterlagen zu einem Informatikpraktikum an der Universität Karlsruhe entstanden. Als Mix aus Inhalten der technischen Informatik und der Robotik soll es Studenten bereits im Grundstudium für die Robotik als Forschungsrichtung interessieren und begeistern. Das besondere an diesem Buch ist, dass als Roboterbasis kein kommerziell erhältliches Robotersystem gewählt wurde, sondern selbst ein eigenständiger, kleiner zweirädriger Roboter aufgebaut wird. Zwar ist dieser nicht so leistungsfähig wie die meisten der oben genannten Systeme, aber durch den transparenten Aufbau und der Wahl von kostengünstigen elektronischen und mechanischen Komponenten weitaus besser geeignet, um die Grundlagen der Robotik zu erlernen.

Als Controller findet ein vergleichsweise billiges, aber leistungsfähiges Mikrocontroller-Board von Elektor mit einem AT89S53 Controller von ATMEL Verwendung. Ein Vorteil dieser Controllerfamilie ist unter anderem, dass es viele sehr gute Assembler, Interpreter und Compiler als Freeware gibt, sodass keine hohen Kosten für die notwendige Softwareausstattung anfallen. Breiten Raum nehmen die Behandlung von Themen wie Sensoren für mobile Roboter, deren Programmierung, Drehzahl- und Lageregelung sowie die Modellierung komplexer Verhaltensweisen ein. Ebenso enthalten sind alle CAD-Zeichnungen für die Mechanik des Roboters, dazugehörige Stücklisten und Alternativen für den Mikrocontroller und entsprechende Software.

Die Kapitel bauen zwar aufeinander auf, sind aber durch die jeweilige thematische Trennung durchaus als eigenständig zu betrachten. So können diese jederzeit zum Nachschlagen und als Vertiefung in ein spezielles Thema verwendet werden. Ein wesentlicher Vorteil des Buches ist die verständliche Vermittlung eines an sich nicht leicht zugänglichen Forschungsbereich mit seiner Verquickung aus Mechanik, Elektronik und Mathematik, die sowohl interessierte Laien als auch Fachleute aus den einzelnen involvierten Ingenieursdiziplinen anspricht und eine Portierung auf komplexere Systeme vergleichsweise einfach macht.

E.Schierer

**Ausschreibung
des
Fred Margulies-Preises
für Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der
Automatisierungstechnik
mit besonderer Berücksichtigung der sozialen Aspekte**

Anlässlich des zehnjährigen Bestehens des IFAC-Beirates Österreich wurde von diesem zusammen mit der Gewerkschaft der Privatangestellten der Fred Margulies-Preis ins Leben gerufen. Dieser Preis wird jährlich (2006 zum vierzehnten Mal) für hervorragende österreichische Arbeiten auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik, mit besonderer Berücksichtigung der sozialen Aspekte, verliehen. Kriterien für die Bewertung sind im wesentlichen Innovationsgehalt, Wissenschaftlichkeit, wirtschaftliche Bedeutung sowie Interdisziplinarität des Ansatzes und soziale Relevanz. Der Preis in der Höhe von

€ 4.400,-- pro Jahr

vom IFAC Beirat zur Verfügung gestellt und von einer Jury vergeben, welcher Persönlichkeiten aus Wissenschaft und Wirtschaft angehören.

Der Fred Margulies-Preis wird am 11. Oktober 2006 im Rahmen des „Österr. Automatisierungstages“ in Wien verliehen.

Eingereicht können Studien (auch Diplomarbeiten und Dissertationen) werden, welche innerhalb der letzten 5 Jahre in Österreich abgeschlossen wurden. Diese Arbeiten sind bis spätestens 31. Juli 2006 in einfacher Ausfertigung zusammen mit einer Kurzfassung (max. 10 Seiten) beim

**Generalsekretariat des IFAC-Beirates c/o Institut für Mechanik und Mechatronik,
Abteilung 6 für Intelligente Handhabungs- und Robotertechnik der Technischen
Universität, Favoritenstraße 9-11, 1040 Wien
(Tel. 58801-31801; E-mail: schirmbrand@ihrt.tuwien.ac.at)**

einzureichen.

Für weitere Anfragen steht das Sekretariat des IFAC-Beirates unter obiger Adresse zur Verfügung.

Eine Anwendung von fehlertoleranten vernetzten Rechnersystemen

Dipl.-Ing. Johann Adlmaninger

Begutachter: o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h. c. mult. Peter Kopacek

Ziel dieser Arbeit war, die Grundlage für ein Rechensystem mit hoher Störungstoleranz und automatischer Ausfallsbehebung im Bereich von Transportsystemen zu erarbeiten.

Für die Transportsysteme wurde eine Steuerung entwickelt, implementiert und erprobt, welche auf Basis von verteilten Rechnersystemen arbeitet. Der Ausfall einer oder mehrerer Systemkomponenten wird automatisch erkannt und das System durch geeignete Maßnahmen wieder in einen konsistenten Zustand gebracht, so dass es für die gesamten funktionellen Abläufe keine nennenswerten Unterbrechungen gibt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Ansätze für die Realisierung dieser Wiederanlauftechnik diskutiert. Für das vorliegende Fallbeispiel wurde das Prinzip der Suchstrategie unter Einbeziehung aller verfügbarer Vorinformationen gewählt.

Der Einsatz erfolgte in einer Mehrlinien Rohrpostanlage. Das Projekt umfasst die Projektierung und die gesamte Hard- und Softwareentwicklung. Das Beispiel, der in dieser Arbeit ausgewählten pneumatischen Transportanlage, ist ein typischer Vertreter solcher Systeme.

Alle wesentlichen Aspekte werden im Detail diskutiert; dies sind insbesondere der Systementwurf, die Hardwareentwicklung, das Datenbankdesign, die Softwareentwicklung für die einzelnen Hardwarekomponenten, sowie das automatische Anrufsystem. Der Detaillierungsgrad ist so gewählt, dass das vorgestellte Material als Referenz für vergleichbare Projekte im Bereich fehlertoleranter verteilter Rechnersysteme dienen kann.

Die Steuerungssoftware ist frei konfigurierbar und damit auf andere Anlagenarchitekturen übertragbar. Die Auslegung der Stationsrechner und Kommunikationsrechner ist universell. Die Standardisierung dieser Komponenten kann bei Folgeprojekten ein beträchtlicher Kostenvorteil sein.

Direct and Indirect Methods for Micro/Nano Characterisation of Dimensional and Functional Properties of Engineering Surfaces

Dipl.-Ing. Kambiz Yaghmaei

Begutachter: o. Univ. Prof. Dr. techn. Dr. h. c. Peter Herbert Osanna

Nanotechnologie als Name gibt es seit 1974. Sie wurde von Taniguchi als eine Technologie definiert, die Dimensionen und Toleranzen zwischen 0.1nm und 1mm möglich macht. Im weiteren Sinn bezieht sich die Nanotechnologie auf das Manipulieren, die Herstellung und das Messen von Strukturen zwischen 0.1nm bis 100nm. Die elektronische und optische Industrie beschäftigen sich mit der Herstellung und der Messung von verschiedenen MEMS/NEMS Produkten.

Nanomesstechnik ist die Basis einer neuen Messtechnik, die für die Nanotechnologie entwickelt werden muss. Erfolgreiche Industriebereiche wie präzise Fertigung, Opto-Elektronik sowie Bio-Molekular Technologie können ohne Nanomesstechnik ihre Entwicklungspotentiale nicht ausschöpfen.

Die Ursache überwiegender Produktfehler ist die Oberfläche und ihre Eigenschaften durch Mechanismen wie Ermüdungsrißbildung, Verschleiß, übermäßige Abtragung, Korrosion, Erosion und Oberflächen-Beschichtungsfehler. Das Feld präziser Fertigung ist von Oberflächen-Qualität und ihrer Funktionalität abhängig, deswegen ist es sehr wichtig die Oberflächeneigenschaften von Materialien und Strukturen zu verstehen.

Ziel dieser Arbeit ist die zwei Methoden zur Beurteilung von Oberflächenqualität und ihre Funktionalität für Micro/Nano-Strukturen zu präsentieren und zu zeigen wie die beiden Methoden gemeinsam in der zukünftigen Oberflächenwissenschaft eingesetzt werden müssen.

- 1) Die direkte Methode für das Charakterisieren von Micro/Nano gefertigten Strukturen und Oberflächen.
- 2) Die indirekte Methode für das Micro/Nano-Charakterisieren von oberflächengefertigten Produkten und Strukturen.

Die direkte Methode ist das Hauptziel experimenteller Festkörperforschung für die Charakterisierung von Oberflächenstrukturen. Solche Informationen werden zum Verbinden geometrischen und physikalischer Eigenschaften von Festkörpern verwendet. Diese Eigenschaften können als Oberflächenintegrität verstanden werden. Die Integrität von Oberflächen wird nicht als eine Einheit gemessen sondern durch die Metallurgie/Chemie im Sinne von Micro/Nano-Strukturelle Charakterisierung gemessen um eine atomische Betrachtung von Strukturen zu ermöglichen.

Die indirekte Methode misst die Integrität einer Oberfläche im Sinne von Micro/Nano Oberflächenmesstechnik. Die Entwicklung von Oberflächenstruktur, Form und 3D Oberflächen-Charakterisierung, Topography und Rauheitskenngrößen für Verschleiß und Reibung hat zur Micro/Nano Oberflächenmesstechnik geführt. 3D Oberflächenmesstechnik ist ein wertvolles Werkzeug im Bereich Oberflächen-Analyse betreffend Verschleiß, Indentation, Topography, Kontaktprobleme und funktionelles Verhalten von Oberflächen.

Robot Motion Planning with Genetic Algorithms

Dipl.-Ing. Mag. Georg Sommer

Begutachter: o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h. c. mult. Peter Kopacek

Die autonome Navigation ist eines der zentralen Forschungsfelder im Bereich der mobilen Robotik. Einen wichtigen Punkt zur Erreichung dieses Ziels stellt die Kollisionsvermeidung von Hindernissen dar. Daher ist die Planung von kollisionsfreien, zusammenhängenden Pfaden zwischen Anfangs- und Endpunkten eine fundamentale Voraussetzung für die autonome Fortbewegung von mobilen Robotern.

Das Gebiet der Bewegungsplanung für Roboter ist seit drei Jahrzehnten ein aktives Forschungsgebiet und zahlreiche klassische Algorithmen zur Pfadplanung wurden entwickelt. Ihnen allen gemeinsam ist, dass sie zuerst einen möglichst exakten Plan der Umgebung entwickeln und danach einen Algorithmus zum Auffinden eines optimalen Weges zwischen Anfangs- und Endpunkt darauf anwenden. Der Schwachpunkt dieser Methoden liegt darin, dass sie sehr unflexibel auf Änderungen in der Umgebung reagieren und sehr langsam in großen und komplexen Umgebungen sind.

Einen vielversprechenden Weg diese Probleme zu überwinden, stellen heuristische Methoden dar. Diese unterscheiden sich von den klassischen Pfadplanungsalgorithmen dadurch, dass sie eine Umgebungskarte mittels stochastischen statt deterministischen Methoden erstellen. Eine beliebte heuristische Methode sind Evolutionäre Algorithmen. Sie basieren auf dem Darwinschen Prinzip 'Überleben der Geeigneten' und haben sich als eine effektive Optimierungsmethode für komplexe Suchräume herausgestellt.

In dieser Arbeit werden Genetische Algorithmen zur Pfadplanung eines synchronegetriebenen Roboters verwendet. Wir zeigen, dass solche Algorithmen schnelle und robuste Werkzeuge für Planungsaufgaben in Umgebungen mit Hindernissen sind. Es werden zuerst Ergebnisse von Simulationsstudien vorgestellt, die anschließend auf der mobilen Roboterplattform Nomad 200 implementiert werden.

TQM, LCA und Nachhaltige Entwicklung unterstützt durch intelligente flexible Metrologie und Demontage und Wiederverwertung gebrauchten Produkten in unterschiedlich industrialisierter Umgebung

Mag. Halima Tahirova

Begutachter: o. Univ. Prof. Dr. techn. Dr. h. c. Peter Herbert Osanna

In den letzten Jahren haben sich die Rahmenbedingungen für Unternehmen in fast allen Branchen nachhaltig verändert. Verschärfster Wettbewerb und wirtschaftlicher Druck zwingen Unternehmen immer mehr, ihre Wettbewerbsstrategien kritisch zu analysieren und wettbewerbskritische Erfolgsfaktoren wie Preis, Qualität, Leistungsmerkmale, Termineinhaltung, Service und Image zu hinterfragen.

Hatte es der Verbraucher in den letzten Jahrzehnten relativ einfach, aus einer bestimmten Produktgruppe das ihm adäquat erscheinende Produkt auszuwählen, so sieht er sich heutzutage zu einer Differenzierung kaum imstande. Neben den klassischen »Produktqualitäten«, die sich von Wettbewerber zu Wettwerber relativ wenig unterscheiden, ist seit einigen Jahren die ökologieorientierte Gestaltung der Produkte hinsichtlich Herstellung, Anwendung/Verwendung und Entsorgung in den Blickpunkt geraten. Aber auch solchen Produkten, wie etwa elektrische und elektronische Produkte, stehen Verbraucher zunehmend kritisch gegenüber.

Die Erzeuger elektrischer und elektronischer Produkte sehen sich auch einem verstärkten Druck seitens der Konsumenten ausgesetzt, ihre Produkte „umweltfreundlicher“ zu gestalten. Die Entsorgung von Elektronikprodukten ist ein sehr aktuelles Thema. Gerade im Hinblick auf die "Directive of Waste of Electronic and Electrical Equipment" (WEEE), die neben dem Verbot von bestimmten Inhaltsstoffen (Pb, Cd, Hg, Halogene, ...) auch die Einhaltung definierter Recyclingquoten regeln soll, existieren einige Verwertungs- und Entsorgungswege und haben sich teilweise bereits am Markt etabliert. Die Verfahren bzw. die Qualität der Entsorgung kann das Umweltprofil eines Produktes dabei wesentlich beeinflussen. Eine Bewertung mit Hilfe der Ökobilanz, welche die Umwelteinwirkungen des gesamten Lebenszyklus eines Produktes aufnehmen soll, ist hierbei eine geeignete Methode, den ökologischen Benefit zu quantifizieren.

Betrachtet man den Lebenszyklus eines Produktes, so ergeben sich die Anforderungen an ein Produkt aus der Summe der Einzelanforderungen der einzelnen Lebenszyklusphasen. Während in der Vergangenheit häufig nur die Phasen Entwicklung, Herstellung, Verteilung sowie Nutzung oder Service in die Betrachtung einbezogen wurden, formulieren sich die Anforderungen heute zunehmend aus der vollständigen Betrachtung der Produkte bis hin zu ihrem Nutzungsende.

Dies bedeutet entsprechend der zusätzlichen Berücksichtigung der End-of-Life-Phasen Recycling und Demontage der Produkte sowie Redistribution und Entsorgung.

Innerhalb des Recyclings nimmt die Demontage eine zentrale Stellung ein. Dabei ist der zerstörungsfreien Demontage als einem der wichtigsten Ziele für die erneute Verwendungsfähigkeit elektronischer Produkte besonderes Augenmerk zu widmen. Der Trend zur mobilen Kommunikation, der in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen hat, verursacht auf der anderen Seite eine Zunahme von Alt-Mobiltelefonen, die fachgerecht entsorgt werden müssen. Mobiltelefone haben eine erstaunlich kurze Lebensdauer. Schon heute gibt es weltweit etwa 2000 verschiedene Handy-Typen. In einem Gerät müssen viele Komponenten in einem sehr kleinen Gehäuse untergebracht werden, was sehr demontage-unfreundlich ist.

Es gibt sehr kleine Schrauben, bei denen kaum Greifflächen zum Manipulieren der Komponenten vorhanden sind. Wichtiger Punkt bei der Demontage von alten Mobiltelefonen ist die Bestimmung der genauen Positionen von Schraub- und Schnappverbindungen.

Zur Lösung dieser Problematik stellt die Koordinatenmesstechnik (KMT) ein wichtiges und flexibles Instrument dar, um Informationen über die Beschaffenheit der Produkte zu gewinnen. Mit Hilfe von Koordinatenmessgeräten (KMG) können auch Werkstücke mit komplexen geometrischen Eigenschaften mit hoher Präzision wirtschaftlich gemessen werden.

In dieser Arbeit werden Punkte an der Oberfläche eines Mobiltelefons mit einem KMG im Bezug auf ein kartesisches Koordinatensystem angetastet, um ein numerisches Abbild aus den Koordinaten der Messpunkte an der Werkstückoberfläche mit Hilfe eines Rechners zu erstellen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Schaffung von Grundlagen für die flexible Automatisierung der Demontage als Beitrag zur Einführung wirtschaftlicher und ökologischer Lösungen für die Demontage und Wiederverwendung gebrauchter Produkte in unterschiedlich industrialisierter Umgebung.

Fertiggestellte Diplomarbeiten

End of Life Management of Automation Devices

Jörg Aigner; IHRT, TU Wien

Montage mit Industrieroboter – Ein Laborversuch

Florian Hochreitner; IHRT, TU Wien

Anwendung humanoider Roboter zur Therapie von Menschen mit Behinderung

Mag. Christian Dcubel; IHRT, TU Wien

Gelenksysteme humanoider Roboter

Wolfgang Wiespointner; IHRT, TU Wien

21. Österreichischer Automatisierungstag

Mittwoch, 11.Oktober 2006
 14.00 – 18.00
 Reed Messe Wien

„Erschwingliche“ Automatisierungstechnik

Cost Oriented Automation

Veranstalter

IFAC Beirat Österreich
 Österreichische Gesellschaft für Meßtechnik und Automatisierung - ÖGMA
 Österreichische Computergesellschaft - OCG
 Österreichische Gesellschaft für Technologiepolitik - ÖGTP
 Österreichische Gesellschaft für Automatisierungs- und Robotertechnik – ÖGART
 Intelligente Handhabungsgeräte und Robotertechnik, TU Wien - IHRT
 Österreichische Gesellschaft für System- und Automatisierungstechnik - SAT

Die Automatisierungstechnik wird immer mehr zur Querschnittsdisziplin in ihrer engen Verzahnung mit der Mechatronik, Informationstechnik und anderen fachverwandten Disziplinen. Oft entscheidet die eingesetzte Automatisierungslösung über technische Wettbewerbsvorteile sowie die gleich bleibende Qualität der produzierten Güter.

Für die Industrie und insbesonders für Klein- und Mittelbetriebe stellt sich die Frage nach der Rentabilität von Automatisierungslösungen. Die IFAC hat sich bereits vor Jahren dieses Themenkreises angenommen und Mittel und Wege für „erschwingliche“ Automatisierungslösungen aufgezeigt.

Auf diesem „21 Österreichischen Automatisierungstag“ sollen wie bisher der österreichischen Industrie, forschungsfördernden Stellen sowie Vertretern von Technologietransferzentren ein Überblick über mögliche Ansätze, zukünftige Entwicklungen sowie realisierte Projekte gegeben werden.

Vorläufiges Programm:

13.00 - 17.00 Registrierung

14.00 - 14.15

Eröffnung

Univ. Prof. Dr. P. Kopacek, TU Wien
 Dr. G.Fürnsinn, Präsident, ÖGMA
 Dr. N. Rozsenich, Präsident ÖGART

14.15 – 15.00

„Erschwingliche“ Automatisierung für Klein- und Mittelbetriebe.
 Prof.em. Dr. Heinz Erbe, TU Berlin

15.00 – 15.20

Verleihung des Fred Margulies Preises
 Dr.N.Rozsenich

15.20 – 16.00

„Cost Oriented Automation and IT“

Prof. Dr. Pedro Albertos, Universidad Valencia (tentatively)

16.00 – 16.15

Pause

16.15 – 17.00

SMErob – Roboter für Klein- und Mittelbetriebe

Dipl.Ing. Martin Hägele, IPA Stuttgart

17.00 – 17.30

Anwendungsbeispiele aus der Industrie

Prof. Dr. Peter Kopacek, IHRT, TU Wien

17.30 – 17.50

Roby Space – ein kostengünstiger Weltraumroboter

Dr. Bernhard Putz, IHRT, TU Wien

17.50 – 18.00

Zusammenfassung und Ausblick

Dr. N. Rozsenich

Univ. Prof. Dr. P.Kopacek, TU Wien

Der Automatisierungstag findet im Zusammenhang mit der „Automation 2006“ statt.
Die Teilnahme ist kostenlos es wird jedoch um Anmeldung ersucht.

Veranstaltungsort: Reed Messe Wien, MCC, Lehar Saal

Das endgültige Programm wird im August 2006 ausgesandt.

Datum	Veranstaltung	Ort	Weitere Informationen erhältlich bei:
12.5.2006	1 st Korean-Austrian Automation Day	<i>Changwon Korea</i>	e-mail: c318@ihrt.tuwien.ac.at http://www.austriantrade.org/korea/austria-in-korea/events/article_4091/809/hash_2bf2f96fbc/en/
17.-19.5.2006	IFAC Symposium Information Control Problems in Manufacturing – INCOM 2006	<i>St. Etienne France</i>	e-mail: incom06@emse.fr http://www.emse.fr/incom.fr
22. – 24.5.2006	IFAC Symposium Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge	<i>Nancy France</i>	e-mail: Laure.Morel@ensgsi.inpl-nancy.fr http://www.ensgsi.inpl-nancy.fr/ASBoHS06/
14. – 16.6.2006	2006 American Control Conference – in cooperation with IFAC	<i>Minneapolis MN, USA</i>	e-mail: misawa@ceat.okstate.edu http://www.a2c2.org/conferences/acc2006/
15. – 17.6.2006	IFAC Conference Improving Stability in Developing Nations through Automation – ISA '06	<i>Prishtina UNMIK Kosovo</i>	e-mail: to be announced http://www.ihrt.tuwien.ac.at/swiis2006/
21.-23.6.2006	IFAC Symposium 7 th Advances in Control Education – ACE 06	<i>Madrid Spain</i>	e-mail: acc2006@dia.uned.es http://www.dia.uned.es/ace2006/index.html
30.6. – 3.7.2006	11 th FIRA Robo-World Cup Germany 2006	<i>Dortmund Germany</i>	e-mail: Norbert.Jesse@udo.edu http://www.firaworldcup.de/
18. – 21.7.2006	Asian Control Conference – in cooperation with IFAC	<i>Bali Indonesia</i>	e-mail: secretariat@ascc2006.com http://www.ascc2006.com
1. – 5.8.2006	INSTCC/IFAC Conference Informatics in Control, Automation and Robotics – ICINCO-2006	<i>Setubal Portugal</i>	e-mail: secretariat@icinco.org http://www.icinco.org

29. - 31.8.2006	IFAC Symposium Control in Transportation Systems	<i>Delft</i> <i>Netherlands</i>	e-mail: ifac-cts2006@avv.rws.nl http://www.rws-avv.nl/ifac-cts2006
6. - 8.9.2006	IFAC Symposium 8 th Robot Control - SYROCO	<i>Bologna</i> <i>Italy</i>	e-mail: cmelchiorri@deis.unibo.it http://www-lar.deis.unibo.it/syroco2006/
12. - 14.9.2006	IFAC Symposium Mechatronic Systems	<i>Wiesloch</i> <i>Germany</i>	e-mail: ringelmann@vdi.de http://www.mechatronics2006.com
15.9.2006	50 th Anniversary of IFAC	<i>Heidelberg</i> <i>Germany</i>	e-mail: ringelmann@vdi.de http://www.vdi.de/ifac50
27. - 30.9.2006	IFAC Conference Management and Control of Production and Logistics – MCPL'2007	<i>Sibiu</i> <i>Romania</i>	e-mail: to be announced http:// to be announced
2. - 10.10.2006	IFAC Workshop Nonlinear Model Predictive Control for Fast Systems (NMPC_FS'06)	<i>Bansko</i> <i>Bulgaria</i>	e-mail: to be announced http://IFAC_ESC.tu-sofia.bg
11.10.2006 14:00 – 18:00 Uhr	21. Österreichischer Automatisierungstag “Erschwingliche” Automatisierungstechnik	<i>Wien</i> <i>Österreich</i>	e-mail: c318@ihr.tuwien.ac.at http://www.ihr.tuwien.ac.at

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

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

Received April 8, 1999

Abstract

This paper shows (italics, 12 pt)

1 General (14 pt)

Authors should prepare their manuscript camera ready, format A 4, 12 typeface and must present their manuscript in good quality. At the left/right edge 2.5 cm, at the top/bottom edge 3 cm. Authors are invited to use papers of this journal as a sample. Please do not use an eraser or erasing fluid. Footnotes should be avoided if possible. Authors are expected to submit their paper to one of the publishers (O.Univ.Prof.Dr. Peter Kopacek, Institute for Handling Devices and Robotics, Vienna University of Technology, Favoritenstrasse 9-11, A-1040 Vienna, Austria, Fax: +43 1 58801-31899 or O.Univ.Prof.Dr. Alexander Weinmann, Institute of Automatic Control, Vienna University of Technology, Gussausstr. 27-29, A-1040 Vienna, Austria, Fax: +43 1 58801 37599).

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.