ISSN 1562 - 2703

INTERNATIONAL JOURNAL AUTOMATION AUSTRIA

HEFT 2 Jg. 7, (1999)

INHALT

	Seite
LORCH, O.; BUSS, M.; SCHMIDT, G. **An Emulation Environment for the Development of a Vision-Based Virtual Walking Machine**	**57**
REIF, K. **Modifikation des erweiterten Kalman-Filters durch einen indefiniten Riccati Entwurf aus der H_∞-Filterung**	**67**
SCHLAGLICHTER	**84**
BUCHBESPRECHUNG	**88**
DISSERTATIONSKURZFASSUNGEN	**93**
KONFERENZEN	**94**
VERANSTALTUNGSKALENDER	**99**

An Emulation Environment for the Development of a Vision-Based Virtual Walking Machine

O. Lorch, M. Buss, G. Schmidt

Institute of Automatic Control Engineering
Technische Universität München
D-80290 München, Germany
E-mail: Oliver.Lorch@ei.tum.de; M.Buss@ieee.org

September 9, 1999

Abstract:
Smooth vision-based walking is a fundamental problem in legged locomotion. In this paper a virtual walking machine is emulated together with hardware-in-the-loop stereo vision components. A cascaded control structure to realize smooth machine walking is presented being applicable to various types of walking machines. The guidance system controls the walking process based on environment perception using stereo image processing. The controlled virtual walking machine is visualized in an augmented reality display. Experimental results in a prototype scenario are presented to validate the proposed emulation and vision-based guidance approach.

1 Introduction

Intelligent walking machines have the potential to find various applications in areas relevant to industry and society. They can be employed for inspection and servicing tasks in hazardous environments, e.g. in nuclear facilities, disaster areas or in outer space. Other applications exist in the household or in similar indoor and outdoor environments, which are typically designed to suit human locomotion requirements. In such situations the application of walking machines, in particular biped humanoid robots, seems to be much more appropriate than of wheeled robotic systems. Figure 1 shows a vision-based walking robot in a typical prototype scenario including obstacles, stairs, and a step trace.
In the past, research activities were mainly focused on the design, simulation, stabilization and construction of various types of walking machines (Fujimoto and Kawamura, 1998; Lee et al., 1998; Chevallereau et al., 1997; Laci et al., 1996; Arakawa and Fukuda, 1997; Kanehiro et al., 1996; Inaba et al., 1996). Today, there exist many robots which can walk in more or less structured environments. They even have the capability to avoid or surmount simple obstacles or to climb stairs. A more recent and rather advanced example of a biped humanoid walking machine is P2, developed by the Honda company (Hirai,

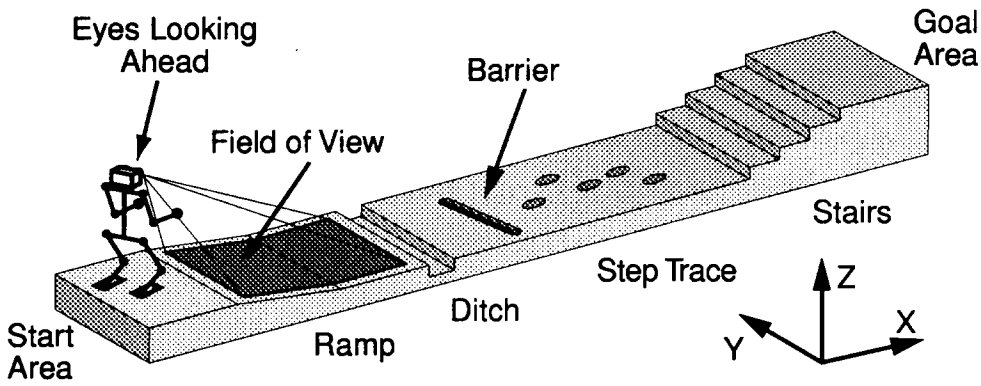


Figure 1: Vision-based walking robot in prototype test scenario.

1997; Hirai et al., 1998), and the new version P3. These robots show mobility features which are rather close to human locomotion capabilities.

However, there still remains a most prominent difference between current robotic and biological or human walking. Human walking is typically goal or task-oriented, i.e. locomotion is guided and controlled by visual perception to achieve task goals according to the underlying intentions. This capability can hardly be found in current walking machines. Even P2, which is equipped with a set of cameras, does not seem to make use of visual information for navigation, guidance, obstacle detection and avoidance, or the selection and adaptation of situation-dependent walking patterns. It is noteworthy that past robotics research has shown only minor interest in studying the important relationship between locomotion and vision, although it seems to be a key issue in the development of an intelligent autonomous walking robot. Some ideas in this direction have been reported by (Pack, 1996; Hosoda et al., 1997; Kagami et al., 1998).

This article is concerned with issues of vision-based guidance and control of walking machines. For this purpose, both, systems and algorithms are required to perceive and analyze the environment, plan and execute steps for safe and efficient walking. With P2, Honda has shown that major mechanical and control problems even for humanoid walking robots have been solved.

Consequently, in this article we propose a novel emulation environment to support studies on vision-based goal-oriented walking. Head and thereby resulting camera motions of a computer simulated walking machine are emulated in a real environment. Information of visual perception and of image processing are coupled with this virtual walking machine—VWM. Its operation is visualized in an augmented display, where an image of an external camera observing the environment is overlayed with a virtual 3D visualization of the VWM.

Section 2 of this article describes major research directions in vision-based walking machine guidance and control. The emulation of the kinematically simulated walking motion for hardware-in-the-loop experiments and the overall system architecture is discussed in Section 3. An algorithm for adaptation of the walking pattern as a result of the information provided by a stereo camera pair is presented in Section 4. Experimental results confirming the usefulness of the emulation approach for the development of control algorithms towards perception-based goal-oriented walking are given in Section 5.

2 Research Directions

The overall objective of our research is the development of a vision-guided humanoid walking robot with the capability to walk safely and smoothly through a prototype environment as shown in Figure 1. To solve this challenging we propose the cascaded control structure shown in Figure 2.

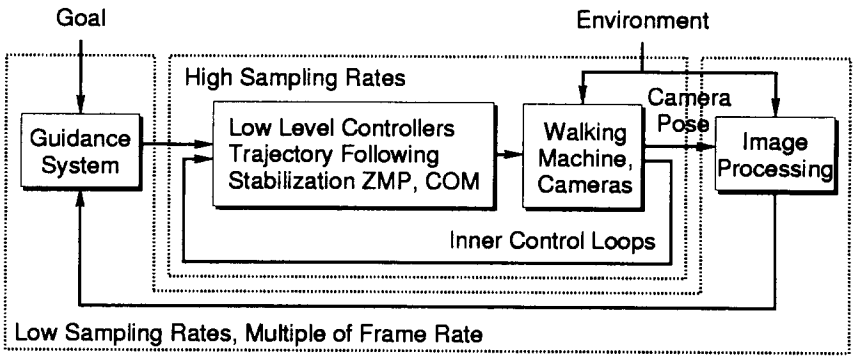


Figure 2: Vision-based walking control system.

Control Approach

The *inner loop* employs a trajectory following controller for each joint of the walking machine operating at high sampling rates, typically $100 - 1000$ Hz. Joint reference trajectories are currently computed from desired step length and height by inverse kinematic models combined with heuristic insight. These step parameters are the control input to the *inner loop*, which also has to stabilize the pose of the walking machine by controlling its zero moment point—ZMP and its center of mass—COM (Hirai et al., 1998; Fujimoto and Kawamura, 1998).

The *outer loop* implements the guidance system to realize goal-oriented locomotion of the walking machine by reacting to information sensed by the vision-based environment perception module. The *outer loop* typically operates at lower sampling rates derived from the camera frame rate. The image processing algorithms form the sensing part of this *outer loop* and are further discussed in Sections 3.6 and 4.

For the development of a vision-based walking robot the understanding of this cascaded control loop is of utmost importance. To facilitate development and evaluation of such a guidance control scheme — although a physical walking machine hardware is currently not available in our laboratory — we propose to use an hardware-in-the-loop emulation approach presented in the following.

3 Emulation of a Virtual Walking Machine

As part of the walking machine emulator an ideal simulation of the *inner loop* including all dynamical effects of the walking machine mechanism and its interaction with the environment — such as contact situations between feet and objects — would be required. This simulation would deliver realistic head/camera motions of the walking machine as a result of the controlled walking process. However, hardware-in-the-loop experiments

require on-line simulation of the *inner loop*, which currently seems to be unfeasible for non-simplistic mechanical models due to the neccessary computational effort and in lack of suitable on-line applicable numerical integration algorithms.
In our emulation approach the *closed inner loop* behavior is therefore approximated by a pure kinematic model. This somewhat ideal assumption means that the controllers in the *inner loop* work perfectly and that there is no uncontrolled, unknown or undesired head movement. More realistically one would expect residual head motion as the result of imperfect controller performance. Here, we substitute these residual motion by typical human head movements measured during human walking experiments.
Figure 3 shows the architecture of the emulator consisting of the VWM simulation part, the head motion generation part using a mobile platform and the augmented reality visualization part.

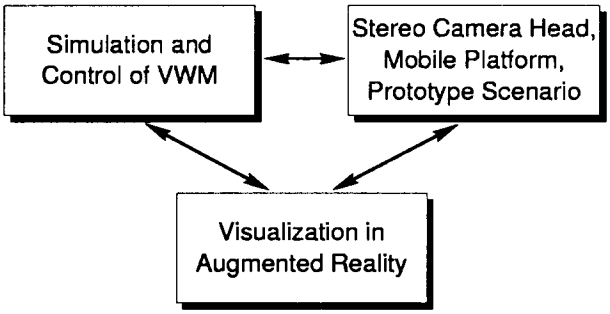


Figure 3: Emulator architecture.

3.1 VWM Kinematics and Scenario

The kinematic model of the VWM including 10 degrees-of-freedom (DOF) is shown in Figure 4. The walking scenario similar to Figure 1 has been physically built including prototype obstacles. It comprises 5 obstacle modules, which can be arranged arbitrarily into different configurations. To keep this experimental setup manageable in our laboratory, all components, such as the height of the VWM, stair height, stair depth etc., are scaled down by a ratio 3 : 2. This means that the VWM height is 1.2 m as compared to the 1.8 m height of a standard male. Consequently the stereo camera system is located approximately 1.12 m above the ground.

3.2 Human Head Motion

To get an estimate of motion patterns to be expected, the head motion of a human during two forward steps over flat terrain is shown in Figure 5. The data[1] shows, in contrast to vehicle motion, that walking motion in the vertical direction and rotation around the longitudinal-axis is substantial and cannot be neglected. The rotational motion is approximately sinusoidal with an amplitude of 5° and a walking speed dependent frequency. The z-translation shows the double frequency with an amplitude of 20 mm.

[1]This data was provided by E. Hartmann, Neurological Clinic Bad Aibling and C. Lutzenberger, Technische Universität München and is in good correspondence to other biomechanical studies (Perry, 1992).

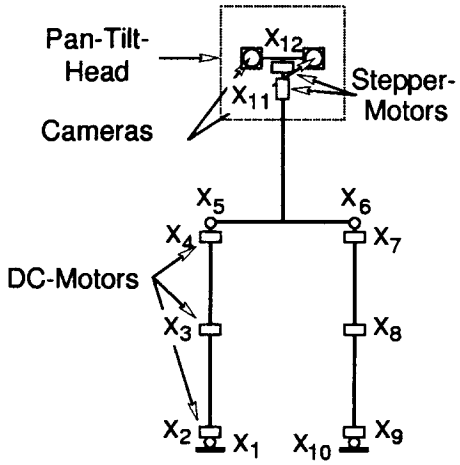


Figure 4: VWM kinematics and actuators.

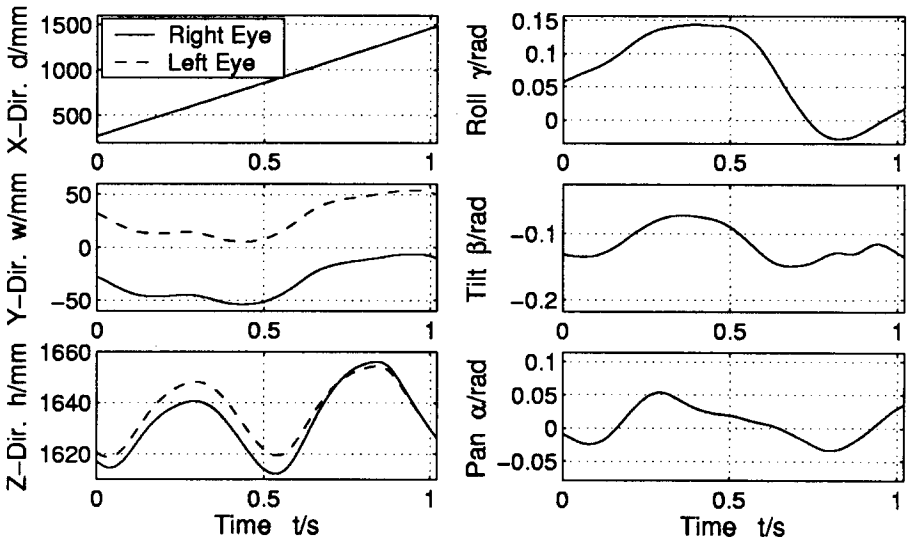


Figure 5: Head motion during human walking with a forward speed of 1.22 m/s.

3.3 Head Motion Emulation

Currently a wheeled mobile platform is used to carry the pan-tilt-head (PTU-46-17.5, Directed Perception Inc.) driven by stepping motors and a pair of NTSC-cameras (XC-999, Sony), see Figure 4 and left side of Figure 6. With the mobile platform for translation in x-direction and the pan-tilt-head for view direction — orientation around the y- and z-axis — the cameras can travel over the scenario and emulate the VWM head motion in 3 DOFs.

3.4 Augmented Reality Approach

To visualize the operation of the VWM, an image of an external scene camera observing the scenario is overlayed with a 3D-animation of the VWM, see Figure 6. Figure 7 shows the prototype environment including the VWM graphics overlay.
The results of a coupling of image processing data on the walking patterns are visualized

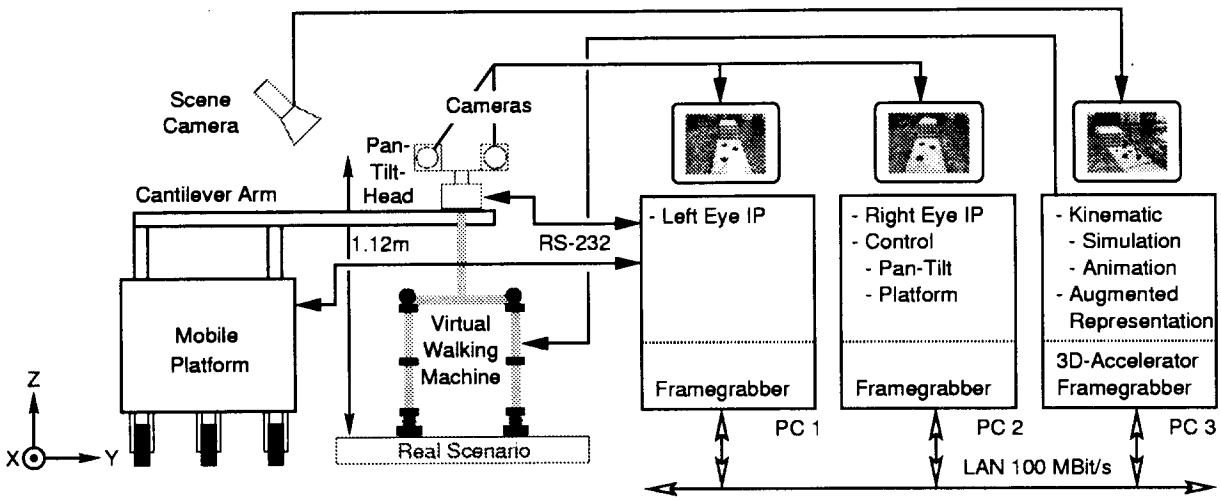


Figure 6: Overall system architecture.

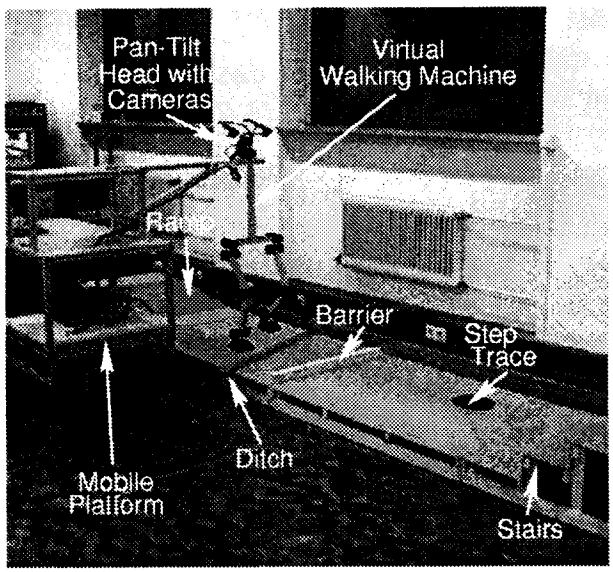


Figure 7: Experimental setup with the overlayed VWM.

by the VWM. Thus details of the walking process can be demonstrated. During an experiment the movement of the real camera-head above the walking trail and the gait of the VWM overlayed on the image of an external camera on a monitor can be observed simultaneously. As a result head motion of the VWM corresponds with the camera motion performed by the mobile platform and the pan-tilt-head.

3.5 Overall System Architecture

For all computations in the VWM emulator several standard PCs running the LINUX operating system are used. Computer communication is performed via sockets in a 100 Mbit LAN. Common frame grabbers with the bt848 chip and a Voodoo-II 3D-add-on-card are used. The 3D-animation procedures are implemented using OpenGL compatible software. All libraries and drivers are open source and freely available on the Internet.
To control the stepping motors of the pan-tilt-head the desired angles are transmitted via

a RS-232 interface to an external controller. The desired speed of the mobile platform ($< 0.8\,\mathrm{m/s}$) is also controlled via a RS-232 interface.
In agreement with the walking speed in x-direction as shown in Figure 5, the speed of the mobile platform is chosen to be constant. The trajectory calculation for the walking machine is performed in the augmented visualization PC. The joint trajectories are calculated as follows: assuming constant forward speed in both the head and hip of the VWM, the joint angles are calculated based on inverse kinematics. The free foot moves along a half sine curve while the other foot is fixed on the ground. Both foot trajectories describe alternating half sine curves.

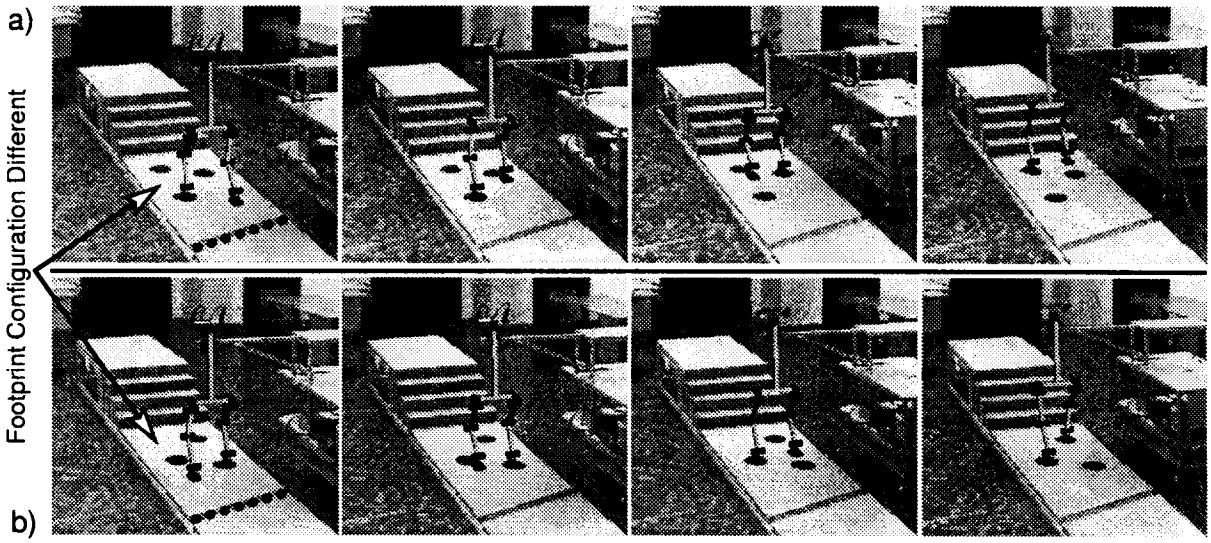


Figure 8: Step sequence over the scenario with obstacle configurations a) and b), both visualized with the external scene camera image overlayed with the VWM (ditch is shown as dotted line).

3.6 Image Processing Algorithms

Head and resulting camera motion in general may cause critical robustness problems for the image processing algorithms to be used in any vision-based walking robot. Elementary modules for image processing are already available as real-time image processing soft- and hardware. Currently we use XVISION, a C++-library of image processing algorithms (Hager and Toyama, 1998).
All relevant features tracked in the image streams are initialized by the user at the start of an experiment. Therewith the stereo correspondence problem is also solved by specifying trackable features for each eye in the appropriate order. The results of the image processing algorithms (rather than raw images) are communicated among the PCs. Hence, image processing can be performed at camera frame rate with satisfactory 3D-reconstruction results.

4 Vision-Based Kinematic Step Planning

For vision-based step planning it is not sufficient to plan just one step ahead. Smooth walking requires planning of a sequence of steps. In addition physiological studies of human walking indicate that obstacle information provided by eye-vision is used in a feedforward control mode rather than in feedback mode (Patla and Vickers, 1997). In our experiments we chose a three steps ahead strategy. Based on the kinematic model of the walking machine the homogeneous transformation matrix ${}^{Foot(l,r)}T_{Cam}$ can be computed, which is used to translate a 3D-reconstructed obstacle in camera-coordinates into foot-coordinates of the actual fixed foot.
Like in biological walking it is not possible to adapt or change an already initiated step currently under execution by means of image processing results. For this reason the distance to an obstacle relative to the expected ground contact point of the swinging foot is computed. If the distance to an obstacle is less than the threshold of three times the normal (scaled) step length of 25 cm, 2 or 3 steps are sufficient to avoid the obstacle smoothly. The step planning algorithm is shown in Figure 9.

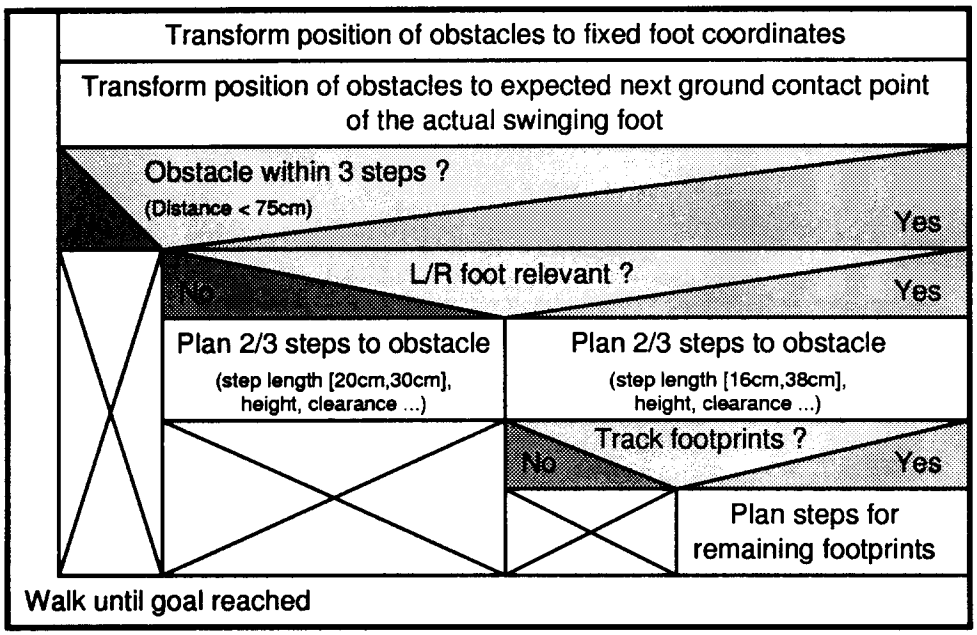


Figure 9: Step planning algorithm.

5 Experimental Results

While walking over the complete scenario in Figure 7 (see also Figure 1), the first 8 and last 8 steps are predefined. Hence, the slope with the following ditch are surmounted without the use of sensor information. Furthermore the distance of the stairs relative to the initial VWM position is assumed to be known *a priori*.
A vision-based adaptation of step parameters using the above step planning strategy is started 2 m after the initial position. It stops with the planning of the last 2 or 3 steps in front of the stairs. From this location the walking machine climbs the stairs in a predefined way.

Experimental results for two obstacle configurations a) and b) are illustrated in Figure 8. Figure 10 shows the vision-based adaptation of steps after step-sequence calculation for the two situations. It should be noted that the adapted step sequence matches the given footprints, and enables the VWM to perform a basic functionality of vision-based goal-oriented walking.

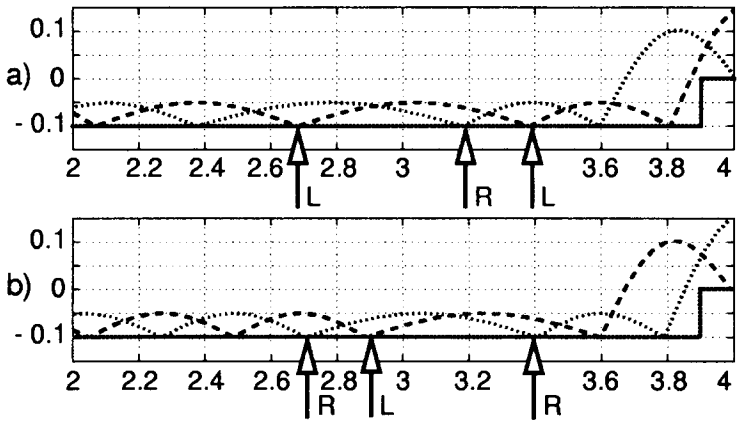


Figure 10: Footpaths of the walking process with desired footprint locations marked for configuration a) and b).

6 Conclusions

In this article we have presented a VWM emulation environment for supporting the development of systems and algorithms for smooth and goal-oriented vision-based guidance and control of walking machines. A cascaded control loop with an *inner loop* to stabilize the walking machine and an *outer loop* with a vision-based guidance controller has been proposed.

The experimental emulation setup combines motion emulation of a kinematic VWM using a wheeled mobile platform and a pan-tilt-head with a stereo camera pair. Motion behavior of the VWM is visualized in an augmented reality using 3D-graphics layed over an image of an external camera observing the real scenario. The emulation environment is used to validate a vision-based step planning strategy to guide the VWM to the goal in the modular prototype scenario. Preliminary experimental results have been presented to validate vision-based behavior of the VWM.

In our opinion the presented VWM emulation approach provides a powerful rapid prototyping platform for the understanding, analysis, and synthesis of vision-based guidance and control concepts and algorithms towards intelligent goal-oriented walking.

Future work will focus on the approximative on-line simulation of a dynamic walking machine and the expansion of the emulation environment to include more realistic 6 DOFs head motion of a biped walking machine.

7 Acknowledgments

This work was supported in part by the German Research Foundation (DFG) within the "Autonomous Walking" Priority Research Program.

References

Arakawa, T., and Fukuda, T. (1997). Natural Motion Generation of Biped Locomotion Robot using Hierachical Trajectory Generation Method Consisting of GA, EP Layers. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 211–216). Albuquerque, New Mexiko.

Chevallereau, C., Formal'sky, A., and Perrin, B. (1997). Control of a Walking Robot with Feet Following a Reference Trajectory Derived from Ballistic Motion. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 1094–1099). Albuquerque, New Mexiko.

Fujimoto, Y., and Kawamura, A. (1998). Simulation of an Autonomous Biped Walking Robot Including Environmental Force Interaction. *IEEE Robotics and Automation Magazine, 5*(2), 33–42.

Hager, G. D., and Toyama, K. (1998). The XVision System: A General-Purpose Substrate for Portable Real-Time Vision Applications. *Computer Vision and Image Understanding, 69*(1), 23–37.

Hirai, K. (1997). Current and Future Perspective of Honda Humanoid Robot. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS* (pp. 500–508). Grenoble, France.

Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y., and Takenaka, T. (1998). The Development of Honda Humanoid Robot. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 1321–1326). Leuven, Belgium.

Hosoda, K., Kamado, M., and Asada, M. (1997). Vision-Based Servoing Control for Legged Robots. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 3154–3159). Albuquerque, New Mexiko.

Inaba, M., Igarashi, T., Kagami, S., and Inoue, H. (1996). A 35 DOF Humanoid that can Coordinate Arms and Legs in Standing up, Reaching and Grasping an Objekt. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS* (pp. 29–36). Osaka, Japan.

Kagami, S., Okada, K., Kabasawa, M., Matsumoto, Y., Konno, A., Inaba, M., and Inoue, H. (1998). A Vision Legged Robot as a Research Platform. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS* (pp. 235–240). Victoria, B.C., Canada.

Kanehiro, F., Inaba, M., and Inoue, H. (1996). Development of a Two-Armed Bipedal Robot That Can Walk and Carry. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS* (pp. 23–28). Osaka, Japan.

Laci, J., Hooshang, H., and Bradley, C. (1996). A Control Strategy for Adaptive Bipedal Locomotion. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 563–569). Minneapolis, Minnesota.

Lee, K.-P., Koo, T.-W., and Yoon, Y.-S. (1998). Real-Time Dynamic Simulation of Quadruped Using Modified Velocity Transformation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 1701–1706). Leuven, Belgium.

Pack, D. (1996). Perception–Based Control for a Quadruped Walking Robot. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 2994–3001). Minneapolis, Minnesota.

Patla, A. E., and Vickers, J. N. (1997). Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel plath. *NeuroReport, 8*(17), 3661–3665.

Perry, J. (1992). *Gait Analysis, Normal and Pathological Function.* Thorofare, NJ: SLACK Incorporated.

Modifikation des erweiterten Kalman-Filters durch einen indefiniten Riccati-Entwurf aus der H_∞-Filterung

Konrad Reif
BMW AG, 80788 München, Deutschland
Telefon: +49 89 382-33207, Telefax: +49 89 382-70-33207
Email: konrad.keif@mailexcite.com
Internet: http://home.pages.de/~konrad.reif/

25. Mai 1999

Zusammenfassung

In diesem Aufsatz wird ein Beobachter für nichtlieare Systeme vorgeschlagen. Ähnlich wie beim erweiterten Kalman-Filter wird die Beobachterverstärkung mit Hilfe einer Riccati-Differentialgleichung berechnet. Der vorgeschlagene Beobachter ist ein exponentieller Beobachter und hängt eng mit der robusten Regelung und der H_∞-Filterung zusammen. Um den Nutzen für praktische Anwendungen zu demonstrieren, wird das vorgeschlagene Verfahren zur Schätzung des Läuferflusses und der Winkelgeschwindigkeit eines Asynchronmotors eingesetzt.

Modification of the Extended Kalman Filter using H_∞-Filtering Riccati Design

In this paper, an observer for continuous-time nonlinear systems is proposed. Similar to the extended Kalman filter, the observer gain is computed using a Riccati differential equation. The proposed observer is an exponential observer, and it is closely related to robust control and H_∞-filtering.

To demonstrate the practical usefulness, the proposed method is applied to estimate the rotor flux and the angular velocity of an induction motor.

1 Einführung

Die Schätzung von nicht meßbaren Zustandsgrößen ist eine wichtige Aufgabe bei der praktischen Anwendung einer Zustandsregelung. Für lineare Systeme ist dieses Problem schon seit längerer Zeit gelöst [9, 16]. Auch für nichtlineare Systeme wurden vielfältige Methoden der Zustandsschätzung vorgeschlagen (siehe z.B. die Übersichtsartikel [17, 35] und die darin zitierten Literaturstellen). Von diesen Verfahren wird das erweiterte Kalman-Filter [1, 7, 8, 15] am häufigsten in der Praxis angewendet [13, 28, 29, 32]. Obwohl es ursprünglich als Näherung für ein nichtlineares Optimalfilter gedacht war, läßt es sich auch sehr gut als Beobachter für deterministische Systeme einsetzen (siehe [5, 22, 23, 27] für den zeitkontinuierlichen und [18, 24, 30] für den zeitdiskreten Fall).

Das erweiterte Kalman-Filter stellt insgesamt ein äußerst nützliches Werkzeug zur Zustandsschätzung nichtlinearer Systeme dar. Trotzdem weist es zuweilen, besonders bei Systemen mit starken Nichtlinearitäten, keine befriedigenden Konvergenzeigenschaften auf. Dies bedeutet, die Differenz zwischen tatsächlichen Zustand und Schätzwert konvergiert nicht gegen null. Eine Konvergenz ist im allgemeinen nur für schwach nichtlineare Systeme oder kleine Anfangsschätzfehler sichergestellt [5, 18, 22, 24, 27, 30].

In den letzten zehn Jahren haben sich Methoden der H_∞-Regelung etabliert [6, 12]. Insbesondere läßt sich die hohe Robustheit der linearen optimalen Regelung mit quadratischem Güteindex durch Einsatz der H_∞-Optimierung noch weiter steigern [4]. Im vorliegenden Aufsatz wird ein ähnlicher Ansatz verfolgt, um die Dynamik und die Qualität der Schätzwerte für das erweiterte Kalman-Filter zu verbessern. Basierend auf Ergebnissen der robusten Regelung [10, 33] und der H_∞-Filterung [3, 19] werden die Nichtlinearitäten als Unsicherheiten modelliert und der Beobachter über eine „worst-case" Abschätzung entworfen. Der hier vorgestellte Entwurf wird derart durchgeführt, daß diese Unsicherheiten toleriert werden können. Dadurch erreicht man ein verbessertes Konvergenzverhalten für große Anfangsschätzfehler. Unter gewissen Umständen läßt sich eine Konvergenz sogar unabhängig vom Anfangsschätzfehler sicherstellen.

Der vorliegende Artikel ist folgendermaßen gegliedert: Zur späteren Referenz werden in Abschnitt 2 die Definitionen der exponentiellen Stabilität und des expo-

nentiellen Beobachters gegeben. In Abschnitt 3 wird die vorgeschlagene Möglichkeit zur Modifikation des erweiterten Kalman-Filters vorgestellt. Die sich dadurch ergebenden Verbesserungen der Stabilitäts- und Konvergenzeigenschaften werden in Abschnitt 4 mathematisch dargestellt und in Abschnitt 5 anhand von numerischen Simulationen veranschaulicht. Der enge Zusammenhang der vorgestellten Methode zur robusten Regelung und der H_∞-Filterung wird in Abschnitt 6 erklärt. Eine kurze Zusammenfassung der gewonnenen Ergebnisse ist in Abschnitt 7 durchgeführt.

2 Exponentielle Beobachter

Gegeben sei ein nichtlineares zeitkontinuierliches System, das durch die Gleichungen

$$\dot{z}(t) = f(z(t), x(t)), \tag{1}$$

$$y(t) = h(z(t)) \tag{2}$$

repräsentiert wird. Dabei ist $t \in \mathbf{R}_0^+$ die Zeit, $z(t) \in \mathbf{R}^q$ der Zustand, $x(t) \in \mathbf{R}^p$ die Eingangs- und $y(t) \in \mathbf{R}^m$ die Ausgangsgröße. Die nichtlinearen Funktionen $f(\cdot,\cdot)$ und $h(\cdot)$ sowie das Eingangssignal $x(\cdot)$ seien stetig differenzierbar, so daß die Zustandsdifferentialgleichung (1) eine eindeutige Lösung besitzt. Durch die Differentialgleichung

$$\dot{\hat{z}}(t) = f(\hat{z}(t), x(t)) + K(t)(y(t) - h(\hat{z}(t))) \tag{3}$$

ist ein Zustandsbeobachter für das nichtlineare System gegeben, wobei $\hat{z}(t)$ den geschätzten Zustand bezeichnet und $K(t)$, die sogenannte Verstärkungsmatrix, eine zeitabhängige $q \times m$-Matrix ist. Da die Funktionen $f(\cdot,\cdot)$ und $h(\cdot)$ stetig differenzierbar sind, können sie in der Form

$$f(z(t), x(t)) - f(\hat{z}(t), x(t)) = A(t)(z(t) - \hat{z}(t)) + \varphi(z(t), \hat{z}(t), x(t)) \tag{4}$$

bzw.

$$h(z(t)) - h(\hat{z}(t)) = C(t)(z(t) - \hat{z}(t)) + \chi(z(t), \hat{z}(t)) \tag{5}$$

entwickelt werden, wobei

$$A(t) = \frac{\partial f}{\partial z}(\hat{z}(t), x(t)) \tag{6}$$

und

$$C(t) = \frac{\partial h}{\partial z}(\hat{z}(t)), \tag{7}$$

gesetzt werden. Führt man den Schätzfehler

$$\zeta(t) = z(t) - \hat{z}(t) \tag{8}$$

ein und subtrahiert Gl. (3) von Gl. (1), so erhält man unter Benutzung der Gln. (2), (4) und (5)

$$\dot{\zeta}(t) = (A(t) - K(t)C(t))\zeta(t) + r(t), \tag{9}$$

wobei

$$r(t) = \varphi(z(t), \hat{z}(t), x(t)) - K(t)\chi(z(t), \hat{z}(t)) \tag{10}$$

gesetzt wurde. Diese Differentialgleichung für den Schätzfehler wird in Abschnitt 4 genauer untersucht. Dazu wird zuerst die Definition der (lokalen und globalen) exponentiellen Stabilität kurz wiederholt (vgl. z.B. [34], Abschnitt 5.1, S. 142–143):

Definition 1 *Die Differentialgleichung (9) hat im Nullpunkt einen* (lokal) exponentiell stabilen Gleichgewichtspunkt, *wenn es reelle Konstanten* $\epsilon, \eta, \vartheta > 0$ *gibt, so daß die Ungleichung*

$$\|\zeta(t)\| \leq \eta \|\zeta(0)\| \mathrm{e}^{-\vartheta t} \tag{11}$$

für jedes $t \geq 0$ *und für jede Lösung* $\zeta(\cdot)$ *der Differentialgleichung (9) mit* $\zeta(0) \in B_\epsilon = \{v \in \mathbf{R}^q | \|v\| < \epsilon\}$ *erfüllt ist.*

Definition 2 *Die Differentialgleichung (9) hat im Nullpunkt einen* global exponentiell stabilen Gleichgewichtspunkt, *wenn es reelle Konstanten* $\eta, \vartheta > 0$ *gibt, so daß die Ungleichung (11) für jedes* $t \geq 0$ *und für jede Lösung* $\zeta(\cdot)$ *der Differentialgleichung (9) mit einem beliebigen* $\zeta(0) \in \mathbf{R}^q$ *erfüllt ist.*

Mit Hilfe von Definition 1 läßt sich der exponentielle Beobachter [11] in einer prägnanten Weise definieren:

Definition 3 *Der Beobachter, der durch die Differentialgleichung (3) gegeben ist, ist ein* exponentieller Beobachter, *wenn die Differentialgleichung (9) für den Schätzfehler im Nullpunkt einen exponentiell stabilen Gleichgewichtspunkt hat.*

3 Modifikation des erweiterten Kalman-Filters durch einen indefiniten Riccati-Entwurf

In diesem und im folgenden Abschnitt werden die Betrachtungen auf Systeme mit linearer Ausgangsgleichung beschränkt, d.h. die Zustandsgleichung lautet

$$\dot{z}(t) = f(z(t), x(t)), \tag{12}$$
$$y(t) = Cz(t), \tag{13}$$

wobei $t \in \mathbf{R}_0^+$ die Zeit, $z(t) \in \mathbf{R}^q$ der Zustand, $x(t) \in \mathbf{R}^p$ die Eingangs- und $y(t) \in \mathbf{R}^m$ die Ausgangsgröße ist. Die nichtlineare Funktion $f(\cdot,\cdot)$ sowie das Eingangssignal $x(\cdot)$ seien wie bisher stetig differenzierbar, so daß die Zustandsdifferentialgleichung (12) eindeutige Lösungen besitzt. Für spätere Untersuchungen des Stabilitätsverhaltens wird die Differentialgleichung für den Schätzfehler berechnet. Weil die Ausgangsgleichung (13) linear ist, gilt $\chi(z(t), \hat{z}(t)) = 0$ und Gl. (9) vereinfacht sich zu

$$\dot{\zeta}(t) = (A(t) - K(t)C)\zeta(t) + \varphi(z(t), \hat{z}(t), x(t)). \tag{14}$$

Nun wird eine Modifikation des erweiterten Kalman-Filters zur Verbesserung der Konvergenzeigenschaften vorgestellt. Dabei wird die Riccati-Differentialgleichung zur Berechnung der Verstärkungsmatrix in einer Weise modifiziert, daß die Gewichtungsmatrizen nicht nur wie bisher ausschließlich positiv definit sind, sondern zum Teil auch indefinit. Daher wird dieses modifizierte Entwurfsverfahren im folgenden „indefiniter Riccati-Entwurf"genannt.

Definition 4 *Ein Beobachter gemäß dem* indefiniten Riccati-Entwurf *ist durch folgende Gleichungen gegeben:*

Differentialgleichung für den Schätzwert:

$$\dot{\hat{z}}(t) = f(\hat{z}(t), x(t)) + K(t)(y(t) - C\hat{z}(t)) \tag{15}$$

Riccati-Differentialgleichung:

$$\begin{aligned} \dot{P}(t) &= A(t)P(t) + P(t)A^{\mathrm{T}}(t) \\ &\quad -P(t)\left(C^{\mathrm{T}}R^{-1}C - \lambda^2 I\right)P(t) + \mu^2 I \end{aligned} \tag{16}$$

Linearisierung:

$$A(t) = \frac{\partial f}{\partial z}(\hat{z}(t), x(t)) \tag{17}$$

Verstärkungsmatrix:

$$K(t) = P(t)C^{\mathrm{T}}(t)R^{-1} \tag{18}$$

Das Ausgangssignal des Systems $y(t)$ ist durch die Gln. (12) und (13) gegeben, R ist eine symmetrische positiv definite $m \times m$-Matrix und $\lambda, \mu > 0$ sind positive reelle Konstanten.

Bemerkung: Der wesentliche Unterschied zum erweiterten Kalman-Filter liegt in dem zusätzlichen Term $-\lambda^2 I$ in der Riccati-Differentialgleichung (16). Dieser Term führt dazu, daß die Matrix $C^{\mathrm{T}}R^{-1}C - \lambda^2 I$ indefinit wird. Die Folgen dieser Indefinitheit werden in den nächsten Abschnitten diskutiert.

4 Globale exponentielle Stabilität im Fall des indefiniten Riccati-Entwurfs

Der indefinite Riccati-Entwurf hat sehr günstige Konvergenz- und Stabilitätseigenschaften bezüglich des Schätzfehlers, wie das folgende Theorem zeigt, dessen Beweis in [21] oder [25] nachgelesen werden kann:

Theorem 1 *Es sei ein Beobachter gemäß dem indefiniten Riccati-Entwurf mit reellen Konstanten $\lambda, \mu > 0$ gegeben. Weiterhin seien folgende Voraussetzungen erfüllt:*

1. *Es gibt reelle Konstanten $\underline{p}, \bar{p} > 0$ derart, daß die folgende Ungleichung für jedes $t \geq 0$ erfüllt ist:*
$$\underline{p}I \leq P(t) \leq \bar{p}I. \tag{19}$$

2. *Es gibt eine reelle Konstante $\kappa > 0$ derart, daß der Term $\varphi(z(t), \hat{z}(t), x(t))$ in Gl. (14) durch die Ungleichung*
$$\|\varphi(z(t), \hat{z}(t), x(t))\| \leq \kappa \|z(t) - \hat{z}(t)\| \tag{20}$$
für jedes $t \geq 0$ beschränkt ist.

Dann ist der Beobachter ein exponentieller Beobachter. Darüberhinaus hat die Differentialgleichung (14) für den Schätzfehler im Nullpunkt einen global exponentiell stabilen Gleichgewichtspunkt.

Bemerkungen:

1. Der wichtigste Unterschied zur exponentiellen Stabilität im Falle des erweiterten Kalman-Filters [22, 25] ist, daß für den indefiniten Riccati-Entwurf die Differentialgleichung für den Schätzfehler unter geeigneten Voraussetzungen *global* exponentiell stabil ist. Das hat zur Folge, daß der Beobachter trotz beliebig hoher Anfangsschätzfehler konvergiert. Auch wenn man in praktischen Anwendungsfällen die Voraussetzungen nicht exakt erfüllen wird, so kann man dennoch die Konvergenz für wesentlich größere Anfangsschätzfehler sicherstellen, als dies für das erweiterte Kalman-Filter möglich ist (siehe hierzu auch [23] und die numerischen Simulationen im nächsten Abschnitt).

2. Wie in [2] gezeigt wird, ist für das erweiterte Kalman-Filter die Lösung der Riccati-Differentialgleichung positiv definit und beschränkt, wenn gewisse Kriterien für Beobachtbarkeit und Detektierbarkeit erfüllt sind. Entsprechende Verallgemeinerungen für indefinite Riccati-Differentialgleichungen wie Gl. (16) sind im allgemeinen leider nicht möglich. Diese Problematik, insbesondere die Tatsache, daß die indefiniten Riccati-Gleichungen nicht immer positiv definite Lösungen $P(t)$ besitzen, ist in der H_∞-Filterung und H_∞-Regelung eine wohlbekannte und bisher nicht befriedigend gelöste Schwierigkeit (siehe z.B. [4]).

3. Der Term $\varphi(z(t), \hat{z}(t), x(t))$ in Gl. (14) muß beim indefiniten Riccati-Entwurf nicht notwendigerweise aus Termen zweiter und höherer Ordnung bestehen. Es wird lediglich vorausgesetzt, daß er durch die Lipschitz-ähnliche Abschätzung (20) betragsmäßig beschränkt ist.

5 Numerische Simulationen und Vergleich

Besonders im Hinblick auf praktische Anwendungen sind nicht nur die theoretischen Eigenschaften des indefiniten Riccati-Entwurfs von Bedeutung, sondern auch die Anwendbarkeit auf konkrete Problemstellungen. Daher wird dieser Entwurf im vorliegenden Abschnitt auf ein Beispielsystem angewendet und

anhand numerischer Simulationen mit dem erweiterten Kalman-Filter verglichen. Als Beispiel wird der symmetrische dreiphasige Asynchronmotor gewählt, wobei sowohl der Läuferfluß als auch die Winkelgeschwindigkeit geschätzt wird. Der Asynchronmotor eignet sich aus folgenden Gründen sehr gut als Beispiel: Zum einem besitzt er sehr ausgeprägte Nichtlinearitäten, zum anderen ist besonders die Schätzung des Läuferflusses eine bekannte und für die Anwendung sehr wichtige Problemstellung, die daher auch in neueren Forschungsarbeiten immer wieder aufgegriffen wird (siehe z.B. [28] und die darin zitierte Literatur).

Der Asynchronmotor ist eine wichtige Komponente in der Antriebstechnik und wird in jedem Lehrbuch über elektrische Antriebe ausführlich behandelt [14, 20]. Daher werden hier die Zustandgleichungen ohne Herleitung angegeben. Sie lauten

$$\begin{aligned}
\dot{z}_1(t) &= k_1 z_1(t) + x_1(t) z_2(t) + k_2 z_3(t) + x_2(t), && (21)\\
\dot{z}_2(t) &= -x_1(t) z_1(t) + k_1 z_2(t) + k_2 z_4(t), && (22)\\
\dot{z}_3(t) &= k_3 z_1(t) + k_4 z_3(t) + (x_1(t) - z_5(t)) z_4(t), && (23)\\
\dot{z}_4(t) &= k_3 z_2(t) - (x_1(t) - z_5(t)) z_3(t) + k_4 z_4(t), && (24)\\
\dot{z}_5(t) &= k_5 (z_1(t) z_4(t) - z_2(t) z_3(t)) + k_6 x_3(t) && (25)
\end{aligned}$$

und

$$\begin{aligned}
y_1(t) &= k_7 z_1(t) + k_8 z_3(t), && (26)\\
y_2(t) &= k_7 z_2(t) + k_8 z_4(t) && (27)
\end{aligned}$$

Sämtliche Komponenten des Zustandsvektors repräsentieren bezogene Größen (vgl. [20], Abschnitt 3.2.2). Dabei sind $z_1(t)$, $z_2(t)$ die Komponenten des Ständerflusses und $z_3(t)$, $z_4(t)$ die Komponenten des Läuferflusses, die senkrecht zur Drehachse liegen, sowie $z_5(t)$ die Winkelgeschwindigkeit. Von den Eingangsgrößen ist $x_1(t)$ die Frequenz und $x_2(t)$ die Amplitude der als sinusförmig vorgegebenen Ständerspannung und $x_3(t)$ das Lastmoment. Als Ausgänge werden die Ständerströme $y_1(t)$ und $y_2(t)$ gewählt. Ferner sind $k_1, \ldots, k_8$ Konstanten. Aus den Gln. (21) – (25) berechnet sich die Matrix $A(t)$ zu

$$A(t) = \begin{bmatrix} k_1 & x_1(t) & k_2 & 0 & 0 \\ -x_1(t) & k_1 & 0 & k_2 & 0 \\ k_3 & 0 & k_4 & x_1(t) - \hat{z}_5(t) & -\hat{z}_4(t) \\ 0 & k_3 & \hat{z}_5(t) - x_1(t) & k_4 & \hat{z}_3(t) \\ k_5 \hat{z}_4(t) & -k_5 \hat{z}_3(t) & -k_5 \hat{z}_2(t) & k_5 \hat{z}_1(t) & 0 \end{bmatrix} \qquad (28)$$

und Matrix C ergibt sich direkt aus den Gln. (26) und (27) zu

$$C = \begin{bmatrix} k_7 & 0 & k_8 & 0 & 0 \\ 0 & k_7 & 0 & k_8 & 0 \end{bmatrix}. \tag{29}$$

In den Simulationen werden für die Konstanten die Werte

$$k_1 = -0{,}186, \tag{30}$$
$$k_2 = 0{,}178, \tag{31}$$
$$k_3 = 0{,}225, \tag{32}$$
$$k_4 = -0{,}234, \tag{33}$$
$$k_5 = -0{,}081, \tag{34}$$
$$k_6 = -0{,}018, \tag{35}$$
$$k_7 = 4{,}643, \tag{36}$$
$$k_8 = -4{,}448 \tag{37}$$

eingesetzt. Sie ergeben sich, wenn man in den ursprünglichen unnormierten Gleichungen für die dort auftretenden Konstanten bestimmte (physikalisch sinnvolle) Werte einsetzt. Ferner werden als Eingangssignale

$$x_1(t) = s(t), \tag{38}$$
$$x_2(t) = s(t), \tag{39}$$
$$x_3(t) = 0 \tag{40}$$

gewählt, wobei $s(t)$ die Sprungfunktion ist. Die nach den Gln. (28) und (29) gegebenen Werte für $A(t)$ und C werden in die Riccati-Differentialgleichung (16) eingesetzt, wobei $\lambda^2 = 0{,}7$, $\mu^2 = 0{,}008$, $R = 0{,}06I$ und $P(0) = I$ gewählt werden. Die Zustandsdifferentialgleichungen (12) und (15) sowie die Riccati-Differentialgleichung (16) wurden numerisch mit dem Runge-Kutta-Verfahren gelöst. Die verwendeten Anfangsbedingungen lauten für das zu beobachtende System

$$z(0) = [0{,}2 \quad -0{,}6 \quad -0{,}4 \quad 0{,}1 \quad 0{,}3]^{\mathrm{T}} \tag{41}$$

und für den Beobachter

$$\hat{z}(0) = [0{,}5 \quad 0{,}1 \quad 0{,}3 \quad -0{,}2 \quad 4]^{\mathrm{T}}. \tag{42}$$

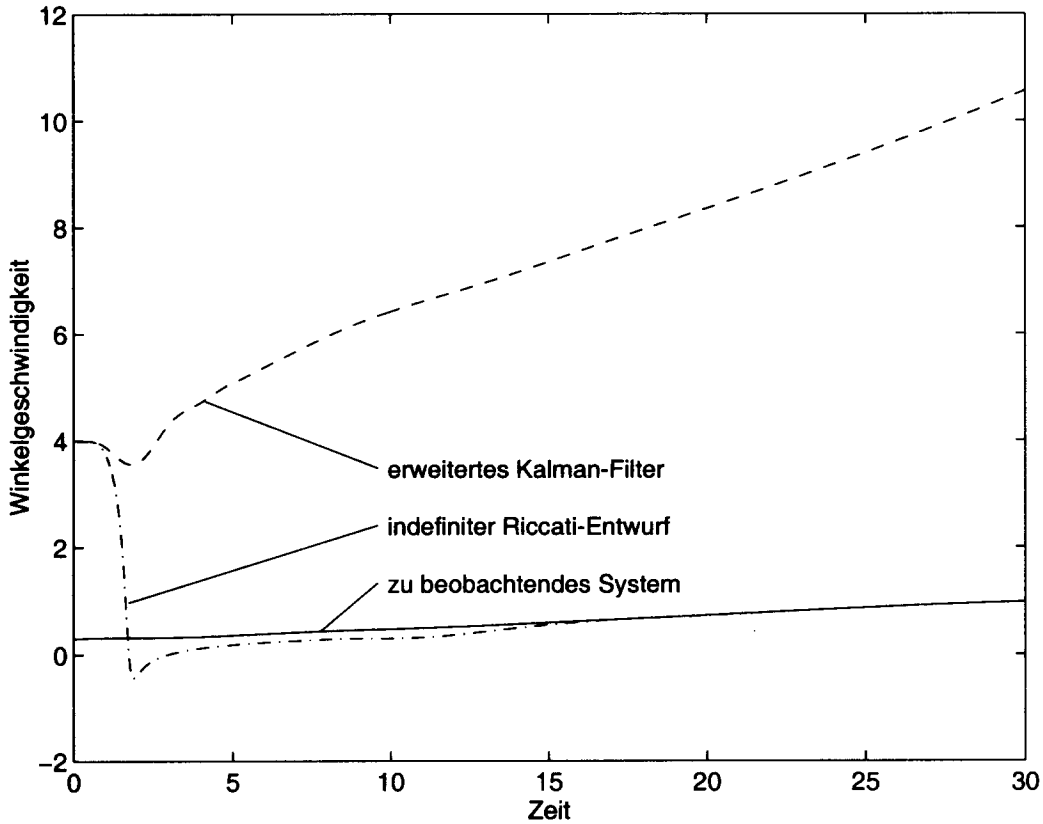


Abbildung 1: Vergleich des indefiniten Riccati-Entwurfs mit dem erweiterten Kalman-Filter für das betrachtete Beispielsystem. Aufgetragen ist die Winkelgeschwindigkeit des Motors und die entsprechenden Schätzwerte, berechnet mit Hilfe des indefiniten Riccati-Entwurfs und des erweiterten Kalman-Filters, jeweils als Funktion der Zeit

Zum Vergleich wurde für das gleiche Beispiel ein erweitertes Kalman-Filter mit den gleichen Gewichtungsmatrizen $Q = \mu^2 I = 0{,}008I$ und $R = 0{,}06I$ entworfen. Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung 1 gezeigt. Man sieht, daß der Schätzfehler für den indefiniten Riccati-Entwurf gegen null geht, nicht jedoch für das erweiterten Kalman-Filter. Wie eine eingehendere Analyse anhand von numerischen Simulationen gezeigt hat [31], weist der indefinite Riccati-Entwurf häufig bessere Konvergenzeigenschaften auf als das erweiterte Kalman-Filter, d.h. es konvergiert auch noch bei relativ großen Anfangsschätzfehlern.

6 Zusammenhang mit robuster Regelung und H_∞-Filterung

Bisher wurde das Stabilitäts- und Konvergenzverhalten des in Abschnitt 3 vorgestellten indefiniten Riccati-Entwurfs in den Abschnitten 4 und 5 sowohl theoretisch als auch numerisch anhand eines Beispiels behandelt. Die Bedeutung des indefiniten Terms in der Riccati-Differentialgleichung (16) ist zwar teilweise im Beweis von Theorem 1 erkennbar, eine ausführliche Motivation dafür wurde jedoch in den vorhergehenden Abschnitten noch nicht gegeben. Dies soll im vorliegenden Abschnitt nachgeholt werden. Hierfür wird die bisherige Beschreibung der Systeme im Zustandsraum durch entsprechende Eingangs-Ausgangs-Beschreibungen ergänzt und die Ergebnisse anhand von Blockschaltbildern veranschaulicht. Im folgenden wird erneut die Differentialgleichung (9) für den Schätzfehler betrachtet. Abbildung 2 zeigt das zugehörige Blockschaltbild. Es wird im folgenden angenommen, daß (20) und

$$\|\chi(z(t), \hat{z}(t))\| \leq \lambda \|z(t) - \hat{z}(t)\| \tag{43}$$

mit einer reellen Zahl $\lambda > 0$ gilt. Setzt man weiterhin

$$F(t) = \frac{1}{\mu\|\zeta(t)\|^2}\, \varphi(z(t), \hat{z}(t), x(t))\zeta^{\mathrm{T}}(t), \tag{44}$$

$$H(t) = \frac{1}{\|\zeta(t)\|^2}\, \chi(z(t), \hat{z}(t))\zeta^{\mathrm{T}}(t) \tag{45}$$

für $\zeta(t) \neq 0$, so folgt aus (9)

$$\dot{\zeta}(t) = \big(A(t) - K(t)C(t) + DF(t) - K(t)H(t)\big)\,\zeta(t) \tag{46}$$

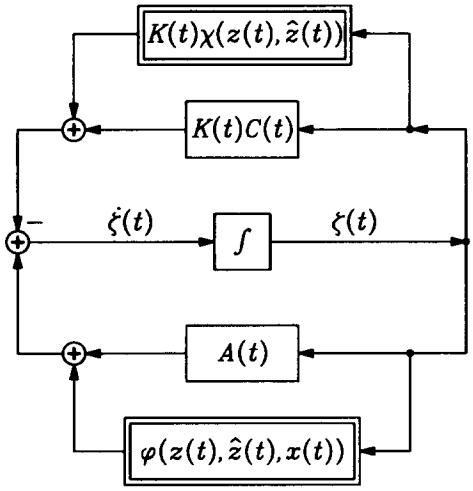


Abbildung 2: Blockschaltbild zur Dynamik des Schätzfehlers nach Differentialgleichung (9)

mit $D = \mu I$. Das entsprechende Blockschaltbild ist in Abbildung 3 gezeigt. Die Matrizen $F(t)$ und $H(t)$ aus den Gln. (44) und (45) erfüllen die Beschränkung

$$\left\| \begin{bmatrix} F(t) \\ H(t) \end{bmatrix} \right\| < \lambda$$

für $t \geq 0$, als Konsequenz von (20), (43) – (45) und $\kappa < \lambda\mu$.

Durch diese Vorgehensweise werden die Nichtlinearitäten als Unsicherheiten modelliert. Für die Stabilität der Dynamik des Schätzfehlers aus Gl. (46) gilt das folgende Theorem, dessen Beweis in [21] zu finden ist:

Theorem 2 *Es sei die Dynamik des Schätzfehlers gemäß Gl. (46) mit $D = \mu I$ und eine Rückführmatrix $K(t)$ gemäß (16), (18) mit $\lambda, \mu > 0$ und $R = I$ gegeben. Weiterhin seien folgende Voraussetzungen erfüllt:*

1. *Es gibt reelle Konstanten $\underline{p}, \bar{p} > 0$ derart, daß die Lösung $P(\cdot)$ der Riccati-Differentialgleichung (16) durch folgende Ungleichung für jedes $t \geq 0$ beschränkt ist:*

$$\underline{p}I \leq P(t) \leq \bar{p}I. \tag{47}$$

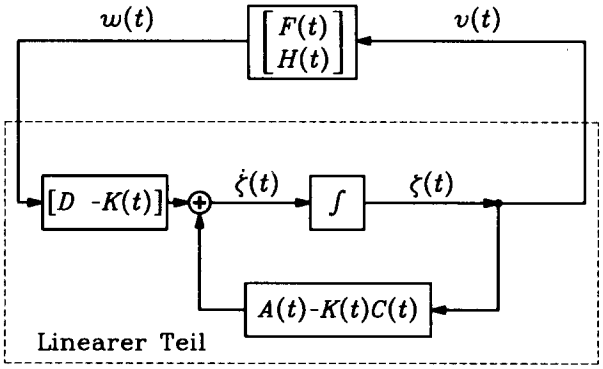


Abbildung 3: Blockschaltbild zur Dynamik des Schätzfehlers nach Differentialgleichung (46). Das Gesamtsystem besteht aus zwei miteinander verbundenen Teilsystemen. Der gestrichelte Kasten enthält den linearen Teil und den Beobachter, $F(t)$ and $H(t)$ repräsentieren die Terme höherer Ordnung.

2. *Die Matrizen $F(t)$ and $H(t)$ erfüllen die Ungleichung*

$$\left\| \begin{bmatrix} F(t) \\ H(t) \end{bmatrix} \right\| < \lambda$$

für $t \geq 0$.

Dann ist die Dynamik des Schätzfehlers nach Differentialgleichung (46) exponentiell stabil.

7 Zusammenfassung

Im vorliegenden Aufsatz wurde ein Beobachter für nichtlineare Systeme vorgeschlagen. Dabei wurde das altbekannte erweiterte Kalman-Filter in einer Weise modifiziert, daß die Nichtlinearitten in den Entwurf mit einbezogen werden können. Die Dynamik des Schätzfehlers ist exponentiell stabil; unter gewissen Umständen konvergiert der Schätzfehler sogar unabhägig vom Anfangsschätzfehler gegen null. Dieses Verhalten wurde anhand eines praktischen Beispiels veranschaulicht, nämlich der Schätzung von Läuferfluß und Winkelgeschwindigkeit eines Asynchronmotors. Die numerischen Simulationen zeigen ein gutes Ein-

schwingverhalten und weiterhin eine Konvergenz bei größeren Anfangsschätzfehlern, als dies für das erweiterte Kalman-Filter möglich ist. Die ursprüngliche Motivation des vorgeschlagenen Entwurfs liegt in einer Modellierung der Nichtlinearitäten als Unsicherheiten. Dies führt zu einem Stabilisierungsproblem, welches typischerweise in der robusten Regelung auftritt und mit Methoden der H_∞-Filterung gelöst werden kann. Ähnlich wie in der H_∞-Filterung ist jedoch eine positiv definite Lösung der Riccati-Differentialgleichung nicht immer gewährleistet. Daher müssen die in der Riccati-Differentialgleichung auftretenden Konstanten und Gewichtsmatrizen sorgfältig gewählt werden.

Literatur

[1] B.D.O. Anderson und J.B. Moore, *Optimal Filtering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1979.

[2] J.S. Baras, A. Bensoussan und M.R. James, Dynamic observers as asymptotic limits of recursive filters: special cases, *SIAM J. Appl. Math.*, Bd. 48, S. 1147–1158, 1988.

[3] T. Basar, B. Bernhard, *H_∞-Optimal Control and Related Minimax Design Problems*, Birkhäuser, Boston, 1995.

[4] R.Y. Chiang, M.G. Safonov, *Robust Control Toolbox User's Guide*, The Mathworks, Natick, 1992.

[5] F. Deza, E. Busvelle, J.P. Gauthier und D. Rakotopara, High gain estimation for nonlinear systems, *Syst. Contr. Lett.*, Bd. 18, S. 295-299, 1992.

[6] J.C. Doyle, B.A. Francis, A.R. Tannenbaum, *Feedback Control Theory*, Macmillan, New York, 1992.

[7] A. Gelb, ed., *Applied Optimal Estimation*, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1984.

[8] A.H. Jazwinski, *Stochastic Processes and Filtering Theory*, Academic Press, New York, 1972.

[9] R. E. Kalman und R.S. Bucy, New results in filtering and prediction theory, *ASME Journ. Basic Eng.*, Bd. 83, S. 95-108, 1961.

[10] P.P. Khargonekar, I.R. Petersen, K. Zhou, Robust stabilisation of uncertain linear systems: quadratic stabilisability and H_∞ control theory, *IEEE Trans. Autom. Contr.*, Bd. AC-35, S. 356–361, 1990.

[11] S.R. Kou, D.L. Elliott, T.J. Tarn, Exponential observers for nonlinear dynamic systems, *Inform. Control*, Bd. 29, S. 204–216, 1975.

[12] H. Kwakernaak, Robust control and H_∞-optimisation, *Automatica*, Bd. 29, S. 255–273, 1993.

[13] C.T. Leondes, *Control and Dynamic Systems, Volume 20: Nonlinear and Kalman Filtering*, Academic Press, New York, 1983.

[14] W. Leonhard, *Control of Electrical Drives*, Springer-Verlag, Berlin, 1985.

[15] F.L. Lewis, *Optimal Estimation*, John Wiley & Sons, New York, 1986.

[16] D.G. Luenberger, Observing the state of a linear system, *IEEE Trans. Military Electronics*, Bd. MIL-8, S. 74–80, 1964.

[17] E.A. Misawa, J.K. Hedrick, Nonlinear observers — a state-of-the-art survey, *ASME Journ. Dyn. Syst. Meas. Contr.*, Bd. 111, S. 344–352, 1989.

[18] P.E. Moraal, P.E. und J.W. Grizzle, Observer design for nonlinear systems with discrete-time measurements, *IEEE Trans. Autom. Contr.*, Bd. AC-40, S. 395-404, 1995.

[19] K.M. Nagpal und P.P. Khargonekar, Filtering and smoothing in a H_∞-setting, *IEEE Trans. Autom. Contr.*, Bd. AC-36, S. 152–166, 1991.

[20] G. Pfaff, *Regelung elektrischer Antriebe I*, Oldenbourg Verlag, München, 1990.

[21] K. Reif, F. Sonnemann und R. Unbehauen, Nonlinear state observation using H_∞-filtering Riccati design, akzeptiert zur Veröffentlichung in *IEEE Trans. Autom. Contr.*

[22] K. Reif, F. Sonnemann und R. Unbehauen, An EKF-based nonlinear observer with a prescribed degree of stability, akzeptiert zur Veröffentlichung in *Automatica*.

[23] K. Reif, F. Sonnemann, E. Yaz und R. Unbehauen, An observer for nonlinear systems based on H_∞-filtering techniques, *Proc. American Control Conference*, Albuquerque, New Mexico, 1997.

[24] K. Reif, S. Günther und R. Unbehauen, EKF with exponential data weighting for nonlinear discrete-time systems, *Proc. IASTED Intelligent Systems and Control Conference*, Halifax, Canada, 1998.

[25] K. Reif, Steuerung von nichtlinearen Systemen mit Homotopie-Verfahren, *Fortschritt-Berichte VDI*, Reihe 8, Nr. 631, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.

[26] K. Reif, F. Sonnemann und R. Unbehauen, Modification of the extended Kalman filter with an additive term of instability, *Proc. 35th IEEE Conf. Dec. Contr.*, S. 533-538, Kobe, Japan, 1996.

[27] K. Reif und R. Unbehauen, Linearisation along trajectories and the extended Kalman filter, *Proc. 13th IFAC World Congress*, Bd. H, S. 509–514, San Francisco, Kalifornien, 1996.

[28] L. Salvatore, S. Stasi, und L. Tarchioni, A new EKF-based algorithm for flux estimation in induction machines, *IEEE Trans. Ind. Electronics*, Bd. 40, S. 496–504, 1993.

[29] G.T. Schmidt, Kalman filter integration of modern guidance and navigation systems, *AGARD Lecture Series No. 166*, 1989.

[30] Y. Song, J.W. Grizzle, The extended Kalman filter as a local asymptotic observer for nonlinear discrete-time systems, *Proc. American Control Conference*, S. 3365–3369, 1992.

[31] F. Sonnemann, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, 1995.

[32] H.W. Sorenson, ed., Application of Kalman Filtering, *IEEE Trans. Autom. Contr.*, Bd. AC-28, 1983.

[33] G. Tadmor, Uncertain feedback loops and robustness in general linear systems, *Automatica*, Bd. 27, S. 1039–1042, 1991.

[34] M. Vidyasagar, *Nonlinear Systems Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.

[35] B.L. Walcott, M.J. Corless und S.H. Zak, Comparative study of nonlinear state-observation techniques, *Int. J. Control*, Bd. 45, S. 2109–2132, 1987.

Berichte vom 14. IFAC Weltkongreß

Beijing, PRC
5. - 9. Juli 1999

H. P. Jörgl
Institut für Maschinen- und Prozeßautomatisierung

Der 14. IFAC Weltkongreß fand vom 5. bis 9. Juli 1999 im Beijing International Convention Center statt. Das in den 5 Tagen abgewickelte Programm umfaßte eine *Keynote Speech, 5 Plenary Lectures, 47 Invited Sessions, 7 Panel Discussions* sowie ca. 1500 Kongreßbeiträge und war in 17 Parallelsitzungen *(Lecture- und Poster*-Sitzungen) organisiert. Dem eigentlichen Kongreß vorangestellt, wurden am 4. Juli 7 ganztägige *Tutorial Workshops* veranstaltet. Die gedruckten *Congress-Proceedings* umfassen 18 Bände und wurden als CD-ROM an alle registrierten Teilnehmer verteilt.

Das technische Programm dieses Kongresses reflektierte das schnelle Wachstum und vor allem die immense Breite der Regelungstechnik im weitesten Sinn. Neben den nunmehr schon klassischen Themenkreisen wie nichtlineare, robuste, adaptive, prädiktive und stochastische Regelung, Fuzzy- und neuronale Regelung, Identifikation, etc., standen diesmal auch Themen wie *Systems Engineering and Management und Manufacturing and Instrumentation* auf dem Programm. Auch die industriellen Anwendungen kamen gebührend zur Geltung, war ihnen doch einer von 9 *Tracks* ganz speziell gewidmet. Dem Berichterstatter ist es aufgrund der Vielfalt und Menge der dargebotenen Information leider nicht möglich, eine auch nur annähernd umfassende Beurteilung des gesamten technischen Programms abzugeben.

Von den Plenary Lectures seien besonders jene von W.F.Powers über *Automotive vehicle control challenges in the 21th century,* und von P. Kokotovic *Constructive Nonlinear Control: Progress in the 90's,* besonders hervorgehoben.

Im Rahmen des 14. Weltkongresses fand auch das jährlich abzuhaltende Meeting des IFAC *Technical Committee on Control Education* (EDCOM) statt. Der Berichterstatter wurde bei dieser Gelegenheit zum Vorsitzenden von EDCOM für die nächste 3-jährige Periode bis zum 15. Weltkongreß in Barcelona (2002) ernannt. Die Arbeit von EDCOM wurde anläßlich dieses Kongresses durch 3 Sitzungen zu den Themenkreisen *Sharing Laboratory Equipmentfor Control Education (invited), Computer Tools and Web-based Methods sowie Computer Aided Teaching* erfolgreich dokumentiert.

Zusammenfassend kann der 14. IFAC-Weltkongreß sowohl vom Inhalt als auch von der Organisation her als erfolgreich bezeichnet werden. Den chinesischen Gastgebern ist es gelungen, sich würdig an die Reihe der vergangenen Kongresse anzuschließen.

M. Deistler
Institut für Ökonomie, Operations Research und Systemtheorie

Ganz allgemein ist zu sagen, daß für mich der Hauptgewinn durch die Teilnahme am Weltkongreß eher in einer umfangreichen Information über Nachbargebiete, als in einer detaillierten Information über meine Kerngebiete lag.

Ich habe an den meisten „System Identification Sessions" teilgenommen. Bei den linearen Systemen war hier das Schwergewicht auf der Weiterentwicklung von "Subspace-Identification" - Prozeduren, sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich, bei orthogonalen Basissystemen und allgemeiner bei Problemen von Parametrisierungen. Es gab eine Session über numerische Aspekte der Systemidentifikation. Bei nichtlinearen Systemen waren die Beiträge weiter gestreut, ein Schwerpunkt war sicher bei neuronalen Netzen. Es gab auch eine Reihe von interessanten Vorträgen zu den Anwendungen der Systemidentifikation. Hier möchte ich insbesondere die Vorträge aus dem Bereich der Anwendungen in Medizin und Physiologie hervorheben.

Ich fand auch die Session über "Management of Environmental Systems" sehr interessant, z.B. den Bericht über ein Projekt über die Optimierung von Wasserverteilungssystemen oder den Bericht über die Simulation von Abwasserreinigungsanlagen.

Unter dem "Panel-Sessions" fand ich drei besonders informativ und interessant: Die "Open Electricity Market" - Diskussion, bei der sehr breit angelegt die technischen und ökonomischen Probleme, die durch die Deregulierung von Elektrizitätsmärkten entstehen, erörtert wurden, die Panel-Session über "Free-Flight", bei der ebenfalls breit angelegt die anstehenden Probleme erörtert wurden, sowie die Panel-Session, die sich mit Anwendungen von neuronalen Netzen für Kraftfahrzeuge beschäftigte

G. Kronreif
Institut für Handhabungsgeräte und Robotertechnik

Wie schon bei den vergangenen IFAC Weltkongressen, war auch 1999 der Robotertechnik nur ein sehr kleiner Teil des technischen Programms gewidmet. So hatten nur 14 der insgesamt zirka 270 Sessions neue Entwicklungen in der Robotertechnik (im weiteren Sinn) zum Inhalt - darüber hinaus waren einige wenige Papers zu diesem Thema in andere verwandte Sessions eingegliedert.

Neben dem traditionell stark besetzten Themenbereich *Robot Control* (Sessions „Robot Control: High Quality", „Robot Control Methodologies", „Control of Robot Systems", „Force and Position Control", „Motion Control", und andere) scheint im Moment dem Bereich „mobile Robotersysteme" besondere Beachtung geschenkt zu werden. So wurde

dieses Thema neben einer Session „Mobile Robots“ auch in einigen anderen Beiträgen (z.B. in den Sessions „Intelligent Autonomous Vehicles I, II“, „Intelligent Components for Perception in Vehicles“, etc.) ausführlich behandelt. Der Großteil dieser Tagungsbeiträge befaßte sich mit durchaus klassischen Problemstellungen, wie z.B. Bahnplanung oder Navigation.

Ebenfalls charakteristisch für IFAC Weltkongresse ist das Fehlen von Anwendungsberichten – die Robotertechnik macht hier keine Ausnahme. Die in Beijing vorgestellten neuen Maßnahmen zur verstärkten Einbindung der „Industrie“ bei IFAC-Veranstaltungen kann aus dieser Sicht nur begrüßt werden. Herauszuheben sind in diesem Zusammenhang einzelne Vorträge in den Sessions „Applications and Teleoperation“ sowie „Visual Servoing“. So wird im Paper „Applying Vision Guidance in Robotic Fresh Meat Handling“ eine hochinteressante Roboteranwendung im Servicebereich beschrieben.

Eingebettet in die Session „Sharing Laboratory Equipment for Control Education“ berichtete K. Schilling über eine an der Fachhochschule Weingarten angewandte Methode zur Ausbildung in Robotertechnik und Mechatronik. Hier werden einzelne Problemstellungen (z.B. Modellbildung des Robotersystems, Collision Avoidance, Sensordaten-Auswertung) „spielerisch“ an einfachen Robotersystemen entwickelt und erprobt. Eine Erweiterung zu einem „long distance education“ Kurs ist in Ausarbeitung.

Ebenfalls zum Bereich „Robotertechnik“ zu zählen ist die Invited Session „Intelligent Assembly and Disassembly“ - organisiert in Zusammenarbeit zwischen der TU Wien und der Universität Ljubljana. Die Vorträge dieser Session spannten einen weiten Bogen, ausgehend von einer Positionierung teil-automatisierter Demontage innerhalb des Recyclingprozesses, über Modellbildung, Planung und Steuerung von (De)Montagezellen, bis hin zur Ausbildung im Bereich „intelligente Montage“ bzw. zur Beschreibung von neuartigen Zellkomponenten zur robotergestützten Montage.

Das IFAC TC „Supplemental Ways for Improving International Stability“ präsentierte seine Arbeiten in zwei Invited Sessions: „Instability, Complexity and Conflict Resolution I, II“. Die Idee mit diesem neuen Session-Titel auch Mitglieder anderer, verwandter Technical Committees anzusprechen war nur zum Teil von Erfolg gekrönt. Insbesonders die erste der beiden SWIIS-Sessions war leider sehr spärlich besucht. In seinem Einführungsvortrag „Guiding Rapid Change - A Leadership Paradigm for a Global Society“ beschrieb F. Kile sein Modell für einen neuen Führungsstil zur Sicherstellung eines anhaltenden globalen Friedens. Er schloß mit dem Gedanken, daß eine bloße zielorientierte Sichtweise durch neue Aspekte, wie z.B. Weitblick und Voraussicht, Kreativität, Konsensfähigkeit und Phantasie („... create visionaries, not functionaries.“) abgelöst werden sollte. Die Anwendung von Petri-Netzen zur Modellierung historischer Prozesse - am Beispiel der Geschichte Schottlands - wurde von I. Hamburg (in Vertretung von M. Hersh) vorgestellt.

In der zweiten Session des TCs SWIIS präsentierte R. Starkermann sein system-theoretisches Modell zur Analyse von zwischenmenschlichen bzw. zwischenstaatlichen Beziehungen. Die - im Anschluß heftig diskutierte - Schlußfolgerung seines Vortrages:

„Der Starke ist am mächtigsten allein (Schiller, Wilhelm Tell)". In einem interessanten (und aktuellen!) Beitrag präsentierte G. Haber Simulationsresultate zu verschiedenen Stabilisierungsmethoden im europäischen Wirtschaftsraum. In seinem Tagungsbeitrag „Restructuring Gisis Southeastern Europe: Towards New National Goal Formations" analysierte G. Dimirowski vergangene und zu erwartende Entwicklungen am Balkan.

Sämtliche Vorträge waren - wie für SWIIS Sessions charakteristisch - von einer angeregten und fruchtbaren Diskussion begleitet.

R. Genser
IFAC Beirat Österreich

Die Beiträge in den Bereichen *Verkehr, sichere Systeme, lernfähige Verfahren* und *komplexe Systeme* brachten keine wesentlichen neuen Erkenntnisse. Interessant und wichtig waren die Diskussionen.

Die Panel Discussion *Global Implementation of CNS/ATM Towards Free Flight* gab den Anstoß zu einer engeren Zusammenarbeit der Akteure in diesem Bereich, was auch im Sinne des 5.Rahmenprogramms der EU ist. Vertreter von EUROCONTROL und ICAO erklärten sich bereit im IFAC TC *Air Traffic Control Automation* mitzuarbeiten.

Mitglieder des IFAC TC Air Traffic Control Automation hatten die Gelegenheit das *Luftfahrtkontrollzentrum Peking* zu besichtigen (Geräte entsprechen jenen in Schwechat) und mit den chinesischen Experten in Kontakt zu kommen.

Weitere Berichte folgen im nächsten Heft.

Sensors Update
Volume 5

H. Baltes, W. Göpel, J. Hesse (Hrsg.)

284 Seiten, 105 Abb., 21 Tabellen
ISBN 3-527-29551-8
WILEY-VCH Verlag

Sensors Update ist die ideale Ergänzung zur erfolgreichen Reihe Sensors - A Comprehensive Survey – ein Muß für Entwickler, Hersteller und Anwender von Sensoren.

Sensors Update vermittelt dem Leser einen Überblick über neue Entwicklungen und aktuelle Tendenzen in dem sich schnell entwickelnden Gebiet der Sensoren. Dieses Buch besteht aus drei Teilen:

Sensor Technology behandelt Entwicklungen in Grundlagen- und angewandter Forschung

Sensor Applications beschreibt neue oder verbesserte Anwendungen von Sensoren und im Teil

Sensor Markets findet der Leser Informationen über Marktentwicklungen, Patente und Marktübersichten.

Dieses Buch kann jedem, der auf dem Gebiet der Sensoren tätig ist, empfohlen werden.

P. Kopacek

Koordinatenmeßtechnik

Albert Weckenmann, Bernd Gawande

298 Seiten, 169 Abb., 37 Tabellen
ISBN 3-446-17991-7
Carl Hanser Verlag

Das Denken in Koordinaten bei der Messung der geometrischen Gestalt von Werkstücken hat in den letzten Jahren die Fertigungsmeßtechnik revolutioniert. Mit den zur Verfügung stehenden hochgenauen – teils taktil, teils optisch antastenden – universellen Koordinatenmeßgeräten lassen sich Werkstückoberflächen punktweise erfassen. Flexible Auswertesoftware kann dann nahezu alle in der Fertigung auftretenden Meßaufgaben lösen. Die Rechnerkopplung erlaubt die Vernetzung der Meßsysteme mit allen Softwarepaketen, wie z.B. CAQ, CAD, FEM.

Die Autoren, zwei renommierte und erfahrene Fachleute auf diesem Gebiet, haben nun eine Monographie zur Koordinatenmeßtechnik vorgelegt. Nach der griffigen Erläuterung des Grundprinzips legen sie gerätemäßige Verwirklichungen sowie neue Anforderungen an die konstruktionsseitige Tolerierung der Werkstücke, die Prüfplanung und –durchführung bis hin zur funktionsorientierten Auswertung dar. Die Genauigkeitsabschätzung der Ergebnisse sowie Aspekte der Wirtschaftlichkeit solcher Meßgeräte sind ebenso behandelt.

P. Kopacek

Computerunterstützung für Regelungsaufgaben

Alexander Weinmann

279 Seiten, 137 Abb.
ISBN 3-211-83346-3
Mai 1999
Springer Verlag

Computerunterstützung zur Lösung technischer Aufgabenstellungen ist in den letzten Jahren selbstverständlich geworden, sowohl in numerischer als auch in symbolischer Form. Die heute verfügbaren hochentwickelten Programmpakete bieten einen sehr hohen Arbeits- und Betriebskomfort bei der genauen Durchrechnung, Diskussion und Lösung verschiedenster Aufgaben. Die computerunterstützte Regelungstechnik bedeutet eine wesentliche Entlastung für Ingenieure und Studenten, verlangt aber gleichzeitig ein entsprechendes Problembewußtsein. Dieses kompakt konzipierte und prägnant formulierte Lehrbuch zeigt, wie mit entsprechenden Softwarepaketen für numerische und symbolische Berechnungen einfache bis sehr komplexe regelungstechnische Aufgabenstellungen bewältigt werden können.

Die ersten sechs Kapitel beschreiben die Lösung von in der Regelungstechnik häufig vorkommenden Teilproblemen mit den gängigen Softwarepaketen MATLAB, MAPLE, SCIENTIFIC WORKPLACE, MATHEMATICA, DYMOLA und ANA. Daran schließen sich Grundaufgaben der Regelungstechnik, der Bildung dynamischer Modelle, aufbereitet mit Anleitungen und Ausführungsbeispielen zur Computerunterstützung an. Weiters werden Ortskurven, Bode-Diagramme, Abtastsysteme, nichtlineare, multivariable und stochastische Systeme - aber auch moderne Fragen wie Robustheit, Optimierung, Hyperstabilität, lineare Matrizengleichungen, neuronale Netze und Fuzzy-Regelung - besprochen. Den Abschluß bildet die Behandlung umfangreicher Aufgaben: Regelung der Position und Ausrichtung von Satelliten, Höhenregler eines Heißluftballons bzw. eines Höhenseglers, Regelungen von Kleinwasserwerken, Roboterbewegung als Brachistochrone und vieles mehr.

Das Buch „Computerunterstützung für Regelungsaufgaben" eignet sich für Regelungstechniker, Elektrotechniker, Maschinenbauer, Studierende und Dozenten in den Bereichen Automatisierung, Logistik, Meß- und Automatisierungstechnik und Computeranwendungen in der Technik.

G. Kronreif

Bildwörterbuch

Maschinenbau und Elektrotechnik

Hein K. Flack
Georg Möllerke

486 Seiten
ISBN 3-540-65687-1
Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1999

Dieses reich illustrierte deutsch-englisch Taschenwörterbuch enthält das fast vollständige Grundvokabular des Maschinenbauers und soll besonders dem reisenden Ingenieur eine praktische und schnelle Hilfe sein.

Diese Buch bietet neben seiner Übersetzung auch über 400 technische Abbildungen an, da eine reine Übersetzung nicht immer ausreicht um einen Ausdruck zu verstehen. Im ersten Teil "Ilustrated Engineering Vocabulary " und "Maschinenbau- und Elektrotechnik- Vokabular wird der Leser oder Suchende technische Fachbegriffe finden. Hingegen wurde der zweite Teil "Pictorial Machine Tool Vocabulary" und Werkzeugmaschinen - Vokabular speziell für Ingenieure und Techniker der Fertigungstechnik zusammengestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den spanenden Werkzeugmaschinen und deren Steuerung.

Neben dem maschinenbaulich - elektrotechnischen Hauptteil wird der Fachteil durch einen umfangreichen Anhang ergänzt. Dieser dürfte von großen Nutzen für den Praktiker sein, wo auf rund 48 Seiten , nach Themen gegliedert, spezielle technische aber auch allgemein sprachliche Redewendungen (die im Berufsalltag häufig vorkommen), nachgeschlagen werden kann. Die Bandbreite reicht von der Ausdrucksweise bei Formelzeichen und Größengleichungen über Spannungslegung und -messung, Montage und Inbetriebnahme sowie Microcomputer Glossary bis hin zu Fach- und Alltagsgesprächen.

Dieses Buch ist vor allem für Dienstreisen geeignet da es sehr klein gegenüber herkömmliche technische Wörterbücher ist und eine Notwendigkeit für einen flexiblen Techniker in der heutigen Zeit darstellt.

Harald Zebedin

Mechanik

Ein einführendes Lehrbuch für Studierende der Technischen Wissenschaft

Udo Gamer
Werner Mack

223 Seiten, 233 Abbildungen
ISBN 3-211-82854-0
Springer Verlag Wien New York, 1999

In diesem Lehrbuch werden die Grundlagen der Mechanik präsentiert, die aus einem Skriptum, und zwar jenem zur Vorlesung aus "Mechanik für Elektrotechnik" an der Technischen Universität Wien, hervorgegangen sind. Das Buch gliedert sich dabei in 5 Kapiteln:

- Einleitung
- Kinematik
- Statik
- Kinetik
- Festigkeitslehre

Die um mathematische Sauberkeit bemühte Darstellung sowie das Vermeiden von Halbwahrheiten bietet Studierenden der technischen Wissenschaften ein Grundgerüst, auf dem weiter aufgebaut werden kann.

Neben der traditionellen Mechanik wie Kinematik, Statik und Kinetik, wird auch die elastizitätstheoretische Basis der Festigkeitslehre vermittelt. Dabei erwartet man von einer Einführung eine Darstellung der Grundlagen in ökonomischer, ausgewogener Form ohne viele technische Details. Das Lehrbuch sollte darüber hinaus die gängigen Anwendungen einbeziehen und zu einer gewissen Kompetenz im Lösen von Problemen führen. Das Buch trägt dabei Züge von beiden, ohne einer Zielvorstellung.

Die Lektüre soll auf diesem Weg das Studium und das selbständige Bearbeiten von Problemen der elementaren Mechanik erleichtern um damit einen tieferen Einblick in das Verhalten von mechanischen Systemen zu bekommen.

Harald Zebedin

Navigation autonomer Mobil-Roboter mittels Auswertung sequentieller Bildfolgen

Dr. Ch. Neugebauer

Begutachter: O. Univ.Prof. Dr.Dr.h.c.mult. P. Kopacek
O. Univ.Prof. Dr. H.P. Osanna

Für den Einsatz von Mobil-Robotern besteht eine Reihe verschiedenartiger Anwendungsgebiete sowohl im industriellen als auch im nicht-industriellen Umfeld. Voraussetzung für einen weitreichenden Einsatz von Mobil-Robotern in verschiedenartigen Umgebungen ist die Fähigkeit der Mobil-Roboter sich selbständig in veränderlichen Umgebungen zurechtzufinden, um Aufgaben erledigen zu können.

Nach einer Einführung in die Grundlagen und die Anwendungen der Bildverarbeitung sind in Marktübersichten preiswerte Frame-Grabber-Karten sowie Programme und Programmbibliotheken zur Bildverarbeitung gegenübergestellt und auf ihre Tauglichkeit im Hinblick auf den Einsatz für die Navigation von Mobil-Robotern beurteilt. Aufbauend auf einer geeigneten kommerziellen Programmbibliothek wurde eine objektorientierte Klassenbibliothek erstellt, die allgemeine Funktionen zur Bildverarbeitung bietet, vor allem aber auf Anwendung in der Navigation von Mobil-Robotern ausgerichtet ist.

Ausgehend von grundlegenden Überlegungen über Verschiebungen von Bildausschnitten bei einem Bildpaar zweier in der gleichen Bildachse axial verschoben aufgenommener Bilder wurde ein Algorithmus entworfen, der aus einem derartigen Bildpaar Raumkoordinaten eindeutiger Bilddetails ermittelt. Das entwickelte Verfahren ermöglicht mit minimalem Aufwand an Sensor-Technologie die Navigation von Mobil-Robotern in unbekannten Umgebungen alleine aufgrund der Bilder einer einzigen auf dem Mobil-Roboter montierten Videokamera.

An einem Versuchsaufbau wurde das Verfahren getestet, verschiedene Optionen verglichen, und derart optimiert, daß ein robustes Erkennen von Raumkoordinaten in einer Vielzahl verschiedener Umgebungen erfolgt. Das Verfahren wurde am Mobil-Roboter „Nomad 200" des Instituts für Handhabungsgeräte und Robotertechnik zur Grundrißermittlung eingesetzt. Dazu wurde der Roboter mit einer Videokamera und einem Frame-Grabber ausgerüstet. Eine Reihe von Bildpaaren, die entsprechend dem beschriebenen Verfahren aufgenommen sind, werden auf einem stationären Rechner so ausgewertet, daß ein Grundrißplan des befahrenen Raumes entsteht. Als Ergebnis wird eine Liste von befahrbaren Bereichen ausgegeben.

Es zeigte sich, daß das entwickelte Verfahren Ergebnisse liefert, die als Grundlage für Bahnplanungsalgorithmen dienen können.

1st IFAC Workshop on

Multi-Agent Systems in Production
MAS '99

December 2 - 4, 1999
Vienna University of Technology / Vienna, Austria

Manufacturing and production has being changed dramatically in the last years. One of the future possibilities to reduce the production costs are Multi-Agent Systems (MAS). Such systems are one of the key technologies for realization of decentralized, adaptive and complex productions systems. A MAS consists of several "agents" working towards a common goal, having different specialisations for specific subtasks.

Technical areas of interest include:

- Design
- Self Configuration
- Task Distribution
- Learning
- Cooperation
- Fault Tolerance
- Control
- Path and Task Planning
- Coordination
- Education
- Scalability
- Social Aspects
- Organizational Design
- Decision Making
- Programming and Languages
- Interaction (Agent – Agent, Human – Agent)
- Automated Negotiation

Application Areas: Robotics, Manufacturing, Assembly and Disassembly

Conference Location: Vienna University of Technology (Main Building)
„Festsaal" and „Boeckl-Saal"
Karlsplatz 13, A-1040 Vienna

Preliminary program as well as registration form is available at the conference homepage at:

http://www.ihrt.tuwien.ac.at/MAS99/

For further information please contact:

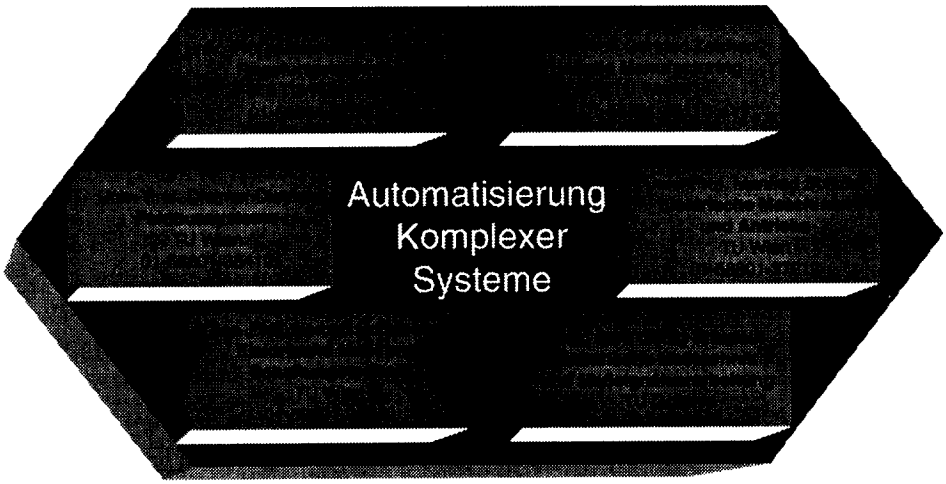
Gernot Kronreif
Institute for Handling Devices and Robotics
Vienna University of Technology
Floragasse 7A, A-1040 Vienna, AUSTRIA
Tel:+43-1-504 1835, Fax:+43-1-504 1835-9
E-mail: mas99@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at

Automatisierung komplexer Systeme

ein Schwerpunkt der Fakultät Elektrotechnik der Technischen Universität Wien

Über die Diagnose sind sich alle einig: In Österreich wird zu wenig geforscht. Der Anteil der Forschung und Entwicklung wird auch 1999 bei 1,63% des BIP liegen. Zur langfristigen Sicherung des Standortes Österreich will die Bundesregierung den Anteil bis zum Jahr 2005 auf 2,5% erhöhen. Damit die eingesetzten Mittel einen möglichst großen Effekt erzielen, muss die bereits heute sehr erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen den österreichischen Universitäten und der Wirtschaft weiter verbessert werden.

Aus diesem Grund wurde von der Fakultät Elektrotechnik der Technischen Universität Wien der Schwerpunkt "Automatisierung komplexer Systeme" initiiert. Im Rahmen dieses Schwerpunktes arbeiten sechs Universitätsinstitute an der Lösung von industrierelevanten Problemen im Bereich der Automatisierungstechnik für komplexe Anwendungen.



Der Vorteil für Interessenten aus der Industrie besteht darin, daß sie für ihr Problem zunächst nur mit einem Ansprechpartner Kontakt aufnehmen müssen. Die weitere Koordination, welche Fachgebiete und Institute zur Lösung des konkreten Problems notwendig sind, erfolgt umgehend intern (siehe Abb.)

Komplexe Systeme sind beispielsweise Unternehmensleitsysteme, Logistiksysteme, Koordination von Multiagenten/ Robotersystemen, chemische und Verfahrensprozesse, Prozessleittechnik und holistisches Produktdatenmanagement. Die Lösung dieser Aufgaben erfordert sowohl breites Querschnittswissen, als auch wissenschaftliche Kompetenz in Detailfragen. Durch die enge Zusammenarbeit der Institute wird gewährleistet, dass alle notwendigen Ressourcen für eine optimale Lösung zur Verfügung stehen, und der Aufwand für Interessenten aus der Industrie minimal bleibt.

Um Industrieunternehmen die Möglichkeiten der Zusammenarbeit im Schwerpunkt zu präsentieren, laden die Partnerinstitute am 21. Jänner 2000 zu einem halbtägigen ***Workshop "Automatisierung Komplexer Systeme" (AUTCOMS)*** *ein.*

TU Wien
Fakultät für Elektrotechnik
AUTCOMS
AUTOMATION OF COMPLEX SYSTEMS
Workshop 21. Jänner 2000

Für weitere Informationen zu diesem Workshop (Anmeldung bis spätestens 15.11.99) sowie als eine erste Anlaufstelle für Industrieunternehmen, die an einer Zusammenarbeit interessiert sind, steht die email-Adresse autcoms@ict.tuwien.ac.at, die Telefonnummer 01 58801 37550 oder die FAX-Nummer 01 58801 37599 zur Verfügung.

6th IFAC Symposium on

Robot Control SYROCO 2000

September 21 - 23, 2000
Vienna University of Technology / Vienna, Austria

SYROCO'2000 will cover the whole range of areas in the field of robot control including mobile robots. Contributions on basic research as well as on relevant applications will be welcome. A non limitative list of topics is the following:

- Robot control techniques (adaptive, robust, learning ...)
- Modeling and identification
- Control based on proximity, range or vision sensing
- Control design and architectures
- Control of discrete / continuous-time robotic systems
- Force and compliance control
- Grasp control
- Non-holonomic robotic systems
- Flexible robots
- Mobile robots, walking robots
- Teleoperation and man / machine dynamic systems
- Multi-Robot-Systems, cooperative robots
- Humanoid robots
- Micro robots
- Applications: space, underwater, civil engineering, surgery, entertainment, mining, etc.

English will be the official language throughout the symposium. No simultaneous translation will be provided.

Contributions to the mentioned topics are welcome. Three copies of an draft paper should be received not later than: **February 29th, 2000**

Sending the abstract in electronic form is highly recommended. The following file formats are possible: Word 97, PS-format, PDF-files

For further information please visit the symposium homepage at
http://www.ihrt.tuwien.ac.at/SYROCO/

or contact:

Peter Kopacek
Institute for Handling Devices and Robotics
Vienna University of Technology
Floragasse 7A, A-1040 Vienna, AUSTRIA
Tel:+43-1-504 1835, Fax:+43-1-504 1835-9
E-mail: syroco@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at

IMEKO 2000

Vom 25. bis 28. September 2000 veranstalten der ÖVE und die ÖGMA (Österreichische Gesellschaft für Mess -und Automatisierungstechnik) den 16. Weltkongress der Internationalen Messtechnischen Konföderation IMEKO in Wien. Es ist dies ein wissenschaftliches Grossereignis, bei dem über tausend Wissenschaftler aus aller Welt, die auf dem Gebiet der Messtechnik tätig sind, erwartet werden. Dieser Rahmen bietet allen interessierten Fachleuten die Möglichkeit, ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse einem erlesenen internationalen Fachpublikum zu präsentieren.

Die Themenkreise von IMEKO 2000 sind:

Ausbildung und Schulung in der Messtechnik
Optische Messungen
Messung von Kraft, Masse und Drehmoment
Messen elektrischer Grössen
Härtemessung
Forschung im Bereich der Messtechnik
Rückführbarkeit in der Messtechnik
Durchflussmessung
Technische Diagnostik
Messtechnische Infrastrukturen
Wärme- und Temperaturmessung
Experimentelle Mechanik
Druck- und Vakuummessung
Messtechnik in Biologie und Medizin
Produktionsmesstechnik
Messtechnik in der Robotertechnik
Messung menschlicher Funktionen
Spezielle Themen von IMEKO 2000
Mikro -und Nano-Technologie
Messunsicherheit und Messfehler
Schnittstellen in der Messtechnik
Expertensysteme bei der Entscheidungsfindung
Auswertung von Messergebnissen
Qualitätsmanagement und Qualitätsicherung
Umweltmesstechnik und Umweltmanagement
Messtechnik im Bauwesen u. i. der Haustechnik
Künstliche Intelligenz in der Messtechnik

IMEKO 2000
INTERNATIONALE
MESSTECHNISCHE
KONFÖDERATION
XVI IMEKO
WELTKONGRESS

MESSTECHNIK

- ☐ **unterstützt die Forschung**
- ☐ **verbessert Technologie**
- ☐ **schützt die Umwelt**

...und sichert Beschäftigung jetzt und in der Zukunft

Hofburg . Wien . Österreich

25.–28. September 2000

Organisiert von der:
Österreichischen Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik
- der österreichischen Mitgliedsorganisation der IMEKO

Wichtige Daten und Termine:

	Kontakt für Details:
	Kongress-Sekretariat
15. Okt. 1999	Übersendung der Kurzfassung
15. Dez. 1999	Übersendung der Fachbeiträge
15. März 2000	Benachrichtigung der Zulassung
25.-28. Sept. 2000	IMEKO 2000

Kongress-Sekretariat:

Abteilung: Austauschbau und Messtechnik (AuM)
Karlsplatz 13/3113
A-1040 Wien, Österreich
TEL: +43 1 58801 31140
+43 1 585 52 71
FAX: +43 1 58801 31196
+43 1 585 85 91
imeko@mail.ift.tuwien.ac.at
imeko2000@ove.e2i.at
http://www.imeko2000.at

XVI IMEKO WORLD CONGRESS

Measurement
- Supports Science
- Improves Technology
- Protects Environment

... and Provides Employment Now and in the Future

CALL FOR PAPERS

ISMCR'2000 September 28-30, 2000 Vienna, AUSTRIA

"Advanced Robot Systems and Virtual Reality"

Organized as Post-Congress Workshop of XVI IMEKO World Congress

Organized by:

IMEKO Technical Committee on Measurement in Robotics (TC 17) and INSTITUTE FOR HANDLING DEVICES AND ROBOTICS (IHRT) - Vienna University of Technology

in cooperation with:

Austrian Society for Measurement and Automation ÖGMA

International Program Committee:

S. TACHI, JP (Chairman)
Y. BAUDOIN, B
K.K.. BHUTANI, IND
H. S. CHO, KOR
V. CHUDY, SK
P. COIFFET, SK
M.N. DURAKBASA, A
C. FERRERO, I
J.G. FONTAINE, F
T. FUKUDA, JP
D.B. GILMORE, AUS
K.T.V. GRATTAN, UK
N. KHEIR, USA
P. KOOL, B
P. KOPACEK, A
G. KRONREIF, A
L. QINGZHONG, PRC
A. MASLOWSKI, PL
P.H. OSANNA, A
T. PFEIFER, GER
B.T. REBAGLIA, I
P. REGTIEN, NL
D. SIMSIK, SK
Z. TAQVI, USA
F.T. LEZA, E
R. TUOKKO, FIN
J. VOLF, CZ
X.G. YOU, PRC
V.D. ZOTOV, RUS

Scope of Conference:

- Robot Vision
- Autonomous Mobile Robots
- Multi-Robot Systems
- Industrial Applications
- Service Robots
- Walking and Climbing Robots
- Robot Calibration
- Sensor Systems
- Programming, Simulation
- Intelligent Assembly and Disassembly
- Methods of Artificial Intelligence in Robotics
- Robot Kinematics
- Robot Applications
- Advanced Applications

Conference Chair:

P. KOPACEK, A
S. TACHI, JP
P.H. OSANNA, A

Local Organizing Committee:

P. KOPACEK, A (Chairman)
N.M. DURAKBASA, A
G. FÜRNSINN, A
G. KRONREIF, A
P.H. OSANNA, A

Conference Secretariat:

Inst. for Handling Devices and Robotics (IHRT)
A-1040 Vienna, Floragasse 7A, AUSTRIA
Tel: +43 1 504 18 35 / FAX: +43 1 504 18 35 9
E-mail: E318@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at
WWW: http://www.ihrt.tuwien.ac.at/IMEKO/

IMPORTANT DATES:

May 1, 2000	Submission of abstracts
June 15, 2000	Notification of acceptance
July 31, 2000	Submission of full papers

Further information: http://www.ihrt.tuwien.ac.at/IMEKO/

Datum	*Veranstaltung*	*Ort*	*Weitere Informationen erhältlich bei:*
2.-4.12.1999	IFAC Workshop oon Multi-Agent Systems in Production – MAS'99	*Vienna Austria*	Dr. Gernot Kronreif Institute for Handling Devices and Robotics Vienna University of Technology Floragasse 7a; A-1040 Vienna, Austria FAX: +43.1.504 18 359 e-mail: mas99@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at http://www.ihrt.tuwien.ac.at/MAS99/
2.-4.2.2000	IMACS/IFAC Symposium 3rd Mathematical Modelling – MATHMOD 2000	*Vienna Austria*	Prof. Inge Troch Vienna University of Technology Wiedner Hauptstr. 8-10; A-1040 Vienna, Austria FAX: +43.1.586 20 50 e-mail: inge.troch@tuwien.ac.at http://simtech.tuwien.ac.at/3rdMATHMOD
5.-7.4.2000	IFAC Workshop Digital Control: Past, Present and Future on PID Control	*Terrassa Spain*	Comite Espanol de la IFAC (CEA-IFAC) Secretary of PID'00 R. Sant Nebridi, 10; E-08222 Terrassa, Spain FAX: +34.93.739 86 28 e-mail: pid00@esaii.upc.es http://www.esaiiterrassa.upc.es/pid00
26.-29.4.2000	IFAC/CIGRE Symposium on Power Plants and Power Systems	*Brussels Belgium*	IBRA/BIRA Federation Attn. Mr. F. Desclefs – General Secretary Ravensteinstreet 3, B-1000 Brussels, Belgium FAX: +32.2.511 7004 e-mail: ifac2000@skynet.be http://www.fpms.ac.be/~ibra/
15.-17.6.2000	7th IFAC Symposium on Automated System Based on Human Skill – Joint Design of Technology and Organization	*Aachen Germany*	VDI/VDE GMA IFAC-NMO Seretariat; POB 10 11 39 D-40002 Düsseldorf, Germany FAX: +49.211.6214 161 e-mail: rosenzweig.vdi.de http://www.vdi.de/gma/gma_e-htm
21.-23.6.2000	12th IFAC Symposium on System Identification – SYSID 2000	*Santa Barbara, CA, USA*	SYSID 2000 Secretariat Dept. of El. & Comp. Engineering UCSB, Santa Barbara, CA, 93106, USA FAX: +1.805.893 3262 e-mail: sysid2000@ece.ucsb.edu http://www.ece.ucsb.edu/ccec/SYSID2000

Datum	*Veranstaltung*	*Ort*	*Weitere Informationen erhältlich bei:*
28.-30.6.2000	American Control Conference . ACC2000	*Chicago, IL, USA*	Prof. A. Haddad, AACC Secretariat Dept. of ECE, North Western Univ. 2145 Sheridan Road, Evanston, IL60208-3118 FAX: +1.647.7491 4456 e-mail: acc00@ece.nwu.edu http:che.vil.edu/acc.2000/acc.html
5.-7.7.2000	IFAC Conference Technology Transfer in Developing Countries Automation in Infra-structure Creation	*Pretoria South Africa*	Prof. Ian K. Craig Dept.of Electrical and Electronic Engg. University of Pretoria, Pretoria, South Africa FAX: +27.12.362 5000 e-mail: icraig@postino.up.ac.za http://www.ee.up.ac.za/decom/
5.-8.7.2000	IFAC/(IFIP/IEEE) 2nd Conference Management and Control of Production and Logistics – MCP 2000	*Grenoble France*	Prof. B. Descotes-Genon LAG, ENSIEG-INPG, BP 46 F-38402 Saint Martin-d'Heres-Cedex, France FAX: +33.04.76826388 e-mail: mcpl@lag.ensieg.inpg.fr http://www-lag.ensieg.inpg.fr/conferences/mcpl2000
12.-14.7.2000	IFAC Conference Manufacturing Modelling, Management and Control – MIM 2000	*Patras Greece*	Prof. Peter Groumpos El. & Computer Engg.; Lab. For Automation & Robotics GR-26500 Rion Patras, Greece FAX: +30.61.1997309 e-mail: groumpos@ee.upatras.gr
21.-23.9.2000	6th IFAC Symposium on Robot Control – SYROCO 2000	*Vienna Austria*	Prof. Dr. Peter Kopacek Institute for Handling Devices and Robotics Floragasse 7a; A-1040 Vienna, Austria FAX: +43.1.504 18 359 e-mail: syroco@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at http://www.ihrt.tuwien.ac.at/SYROCO/
25.-28.9.2000	XVI IMEKO World Congress -IMEKO 2000	*Vienna Austria*	Abt. Austauschbau und Messtechnik (AuM) Karlsplatz 13/3113; A-1040 Vienna, Austria FAX: +43.1.58801 31196 e-mail: imeko@mail.ift.tuwien.ac.at http://www.imeko2000.at
28.-30.9.2000	Advanced Robot Systems and Virtual Reality – ISMCR'2000	*Vienna Austria*	Institute for Handling Devices and Robotics Floragasse 7a; A-1040 Vienna, Austria FAX: +43.1.504 18 359 e-mail: e318@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at http://www.ihrt.tuwien.ac.at/IMEKO/