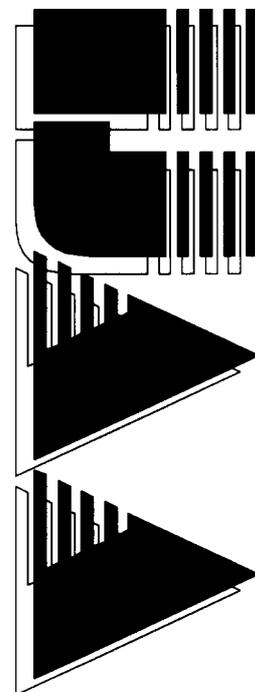


INTERNATIONAL JOURNAL

HEFT 1

Jg. 11, (2003)

AUTOMATION AUSTRIA



INHALT

	<i>Seite</i>
DRAGOICEA, M.; DUMITRACHE, I.; CUCULESCU, D.: Multi-behavioral model based autonomous navigation of the mobile robots	1
VIEHWEIDER, A.: Backstepping – Ein Rekursives Entwurfsverfahren für den Nichtlinearen Regelungsentwurf. Teil 1: Grundlagen und Einführung	21
WEINMANN, A. Control System Design Subject to Multi-Objective Constraints	36
STOLL, A. Fernsteuerung und –wartung eines Digitalreglers über ein GSM-Handy	41
SCHLAGLICHTER	53
BUCHBESPRECHUNG	60
DISSERTATIONSKURZFASSUNGEN	67
VERANSTALTUNGEN	69

Multi-behavioral model based autonomous navigation of the mobile robots

M. Dragoicea, I. Dumitrache, D. Cuculescu
University Politehnica Bucharest
Automatic Control and Systems Engineering Dept.
313 Spl. Independentei, 77206 – Bucharest, Romania
E-mail: (idumitrache, ma-dragoicea)@ics.pub.ro

Received December 3, 2002

Abstract:

The operation of an autonomous mobile robot in a real-world unstructured environment requires consideration of multiple issues. The controller must be able to operate under conditions of imprecision and uncertainty (prior knowledge about the environment is, in general, incomplete, uncertain, and approximate, perceptually acquired information is also typically noisy and incomplete). Furthermore, the execution of control commands is not completely reliable while the dynamics of real-world environments is complex and unpredictable. To cope with these difficulties, the controller must be able to respond reactively to unforeseen events as soon as they are perceived. This paper presents some aspects of mobile robot control by using fuzzy reactive behaviors in the frame of the so called subsumption architecture. At present, in the current implementations of the reactive based controllers the fuzzy control rules are aggregated within a single rule base and they are processed by a unique fuzzy inference engine. The new approach proposed here allows the possibility to implement simple behaviors in a fuzzy reactive multi-control system. The main advantage of the proposed reactive multi-control strategy based on elementary behaviors is that the arbitration mechanism (i.e. a function of type PLAN) is under user's control, that means it is possible to give more importance to a specific behavior or even rule according to the context in which the robot evolves (i.e. task to be fulfilled and environment conditions).

1. Introduction

The operation of an autonomous mobile robot in a real-world unstructured environment requires taking into consideration multiple issues. The controller must be able to operate under conditions of imprecision and uncertainty (prior knowledge about the environment is, in general, incomplete, uncertain, and approximate, perceptually acquired information is also typically noisy and incomplete). Furthermore, the execution of control commands is not completely reliable while the dynamics of real-world environments is complex and unpredictable. To cope with these difficulties, the controller must be able to respond reactively to unforeseen events as soon as they are perceived. The controller must be able to reach explicit goals such as the objectives specified by users or the subgoals generated by the high-level deliberation processes of automated intelligent planners. Finally, the controller must be able to consider multiple concurrent requirements. For example, a mobile robot may need to reach the end of a corridor, while avoiding static and moving obstacles. These requirements may demand the activation of both reactive and goal-achieving procedures. The

overall performance of the control system for autonomous navigation depends on the ability of an uncertainty representation formalism to represent the information at the available level of detail and to use it in a proper useful way. When referring to mobile robotics, uncertainty is not a property of information, but rather a property of an agent - or, more precisely, of agent's reasoning capacity (Saffiotti, A., 1997).

When an agent acts, it interacts with its environment (figure 1.1) because it is situated in that environment (as an integral part of the environment). By taking action, the agent changes things in the environment or changes the way it perceives the environment (e.g. move to a new viewpoint, etc). Therefore the agent's perception of the world is modified. This new perception is then used for a variety of functions, including both cognitive activities like planning for what to do next as well as reacting. The evolution of the mobile robot is defined by its behavior in the specified environment, taking into consideration the task it has to fulfil. Only the simultaneous description of the agent (mobile robot), of the task and of the environment completely defines the agent (i.e. the agent - task - environment triangle).

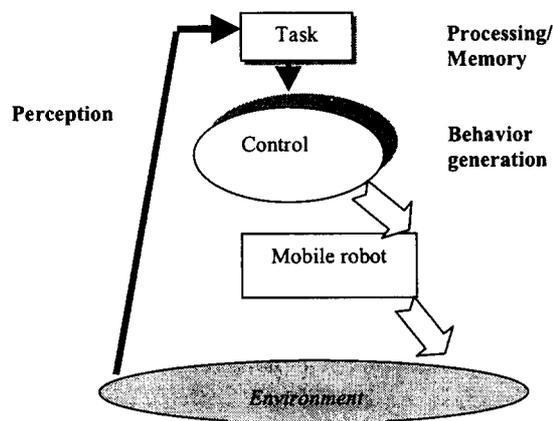


Figure 1.1 The mobile robot - task - environment triangle

In order to be able to execute complex tasks in complex environments the mobile robot must be able to autonomously operate, that means to be able to move in its environment, to adapt to the changes in the environment, to learn from experience, to modify its behavior (i.e. its way of acting), and to build internal representations of the surrounding world that may be used for decision making processes (e.g. for navigation). From this point of view, an "*intelligent mobile robot*" is a mechanical structure that can operate autonomously (Murphy, R., 2000).

Intelligent control is directing a complex system to a goal (Dumitrache, I., 1998). The word "intelligent" in this definition implies that we expect to achieve some resemblance to the intelligence demonstrated by living creatures, primarily by humans. The "intelligence" is the property of a system that emerges when procedures of *focusing attention*, *combinatorial search* and *generalization* are applied to the input information so as to receive the output results (Dumitrache, I., 2000). When referring to mobile robotics, these concepts transforms into mechanisms of *perception*, *processing* and *behavior generation* (see figure 1.1).

The new approaches for mobile robot control consider sensors and actuators closely integrated, providing a tighter linking of *perception* and *action*. Therefore, behavior-based

approaches to mobile robot control have gained increasing popularity, being supported by considerations arising from the study of animal behavior (Arbib, M., 1981), by architectural concerns (Brooks, R., 1986) and by their implementation conveniences (Gat, E., 1992). As a result of interaction between various relatively simple processes in a so-called *subsumption architecture* (also named behaviouristic decomposition) (Brooks, R., 1986) a huge bargain of computational expenses may be avoided or at least minimized. In a subsumption type control architecture, a control layer is built from a set of small modules that send messages to each other. A behavior emerges as the collaboration of a number of modules.

This paper presents some aspects of mobile robot control by using fuzzy reactive behaviors in the frame of the so called *subsumption architecture* (Brooks, R., 1986).

2. Multi-behavior model of the internal representation

Autonomous mobile robots should be able to navigate in uncertain and complex environments – in real time. As highlighted earlier, behavior based robotics constitutes a promising approach, as it involves the simultaneous execution of independent sub-tasks, or primitive behaviors, mapping sensory data into control commands in a reactive way without the need for complex internal representation or planning (Castellano, G., 1997). As a robot in an unknown environment could rely only on its sensory module, a reactive behavior appears to be the only possibility to get the exploration process started. Still, reactive behaviors remain limited in the scope of the tasks that they can accomplish. In particular, the approach is essentially local and thus subject to local extrema problem such as the robot being trapped in dead-ends, performing cyclic runs, and so forth. Thus, a promising approach appears to endow the mobile robot with a set of skills implemented as reactive behaviors and complemented with global exploration strategies.

The behavior-based approach reduces the cost of building and maintaining an internal representation of the environment in which the mobile robot evolves. The agent is considered as an inseparable part of its environment; there is a relationship between the agent and the environment that governs the behavior of the agent.

Multiple models are used to describe the different environment situations and the control is affected by switching to an appropriate controller (figure 2.1).

A "model" of the environment represents a sensory situation (representing stimuli) that will be transformed into an input pattern, X_i , for the expert layer. Each controller from the expert layer is responsible for the implementation of a certain "behavior", i.e. a mapping from the sensory information to some control parameters for the actuators. As shown in figure 2.1, the minimum representation required in this approach consists of two parts: sensory situations representing stimuli, and situation to reaction mapping.

The agent can retain its relationship to the environment by using a set of behaviors each of which maintains a mapping from sensory information to some control parameters for actuators. Thus, the representation internal to the agent can be compacted to the minimum necessary for the agent to retain its ability to react to some stimuli from the environment for the sake of survival. As shown in figure 2.1, a behavior may have several sensory situations,

that means the action taken by a controller depends on different environment situations (i.e. different input patterns).

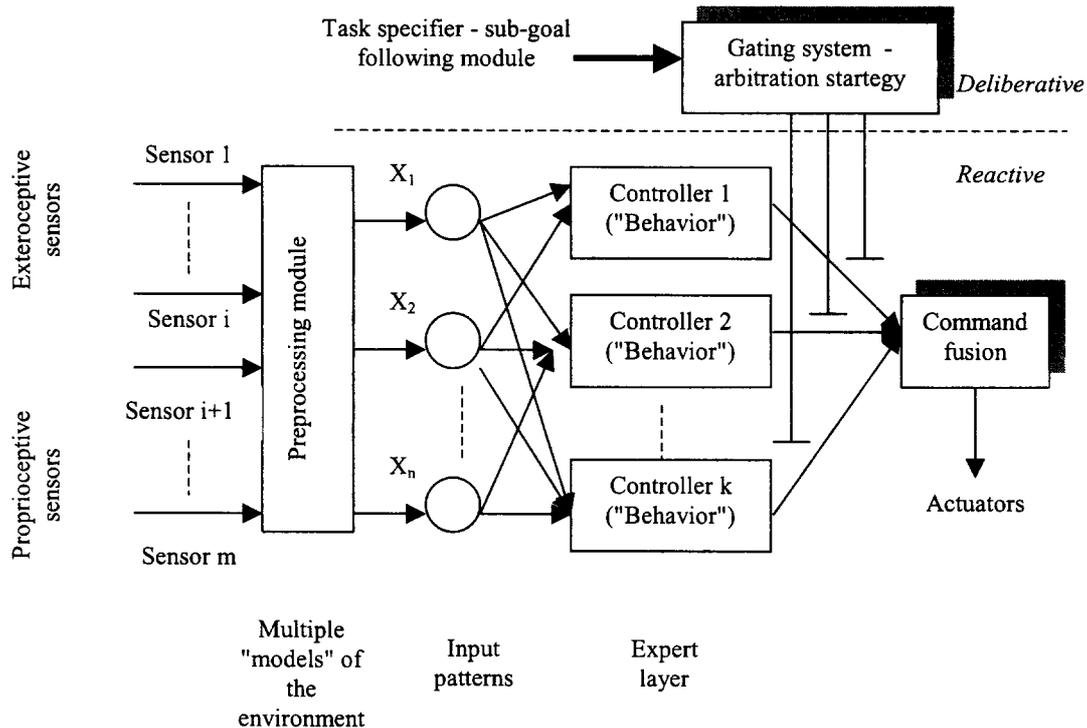


Figure 2.1 Multi-behavior based controller for autonomous navigation

There may be several reactions in execution at the same time in such a behavior-based controller. The action executed in the actuators may contain the overall, or a part of the effect of the actions resulting from behavior programs. By using the exteroceptive sensors, the agent acquires a model of the workspace as it is at the moment when the task must be performed. From this model, a global navigation module (Dragoieca, M., 2000) builds a plan that will perform the given task in the given environment. This plan is then passed to a lower-level control for execution through the sub-goal following module. Based on the specific goals defined by this module, the gating system will mediate the competition in the expert layer and will determine which expert is suitable for each case (i.e. will implement a certain arbitration strategy deciding which behavior(s) should be activated).

Still today, the problem of behavior coordination is generally recognized as one of the major open issues in behavior-based approaches to robotics. That means, how to coordinate the simultaneous activity of several independent behavior-producing units to obtain an overall coherent behavior that achieves the intended task. The simplest example is the coordination of an obstacle avoidance behavior and a goal reaching behavior in order to safely reach the target despite the presence of unexpected obstacles.

The behavior coordination problem can be divided into two conceptually different problems:

- *behavior arbitration*: how to decide which behavior(s) should be activated at each moment and how much (if possible);
- *command fusion*: how to combine the results from different behaviors into one command to be sent to the robot's actuators.

Both problems are solved here using flexible arbitration policies using fuzzy meta-rules. When more than one behavior must be activated, a certain weighting policy will decide the importance of the certain rule.

3. The autonomous robot model

As in the real world, a simulated mobile robot Khepera is modeled as a circular chassis equipped with a ring of sensors which can broadly be categorized as left, front, right and back sensors (see figure 3.1). Independently driven wheels allow controlling the robot speed and direction.

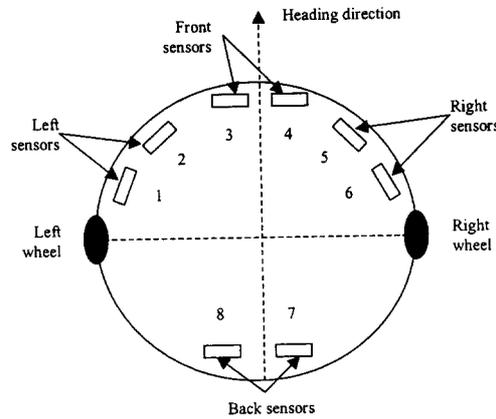


Figure 3.1 Simulation model of the exploration robot (Khepera mini-robot)

The desired movement of the robot with respect to a fix coordinate system is described by the reference kinematic equations:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_r &= V_{AV-r} \cos \theta_r \\
 \dot{y}_r &= V_{AV-r} \sin \theta_r \\
 \dot{\theta}_r &= \omega_r \\
 \xi_r &= [x_r \quad y_r \quad \theta_r]^T \\
 \eta_r &= [V_{AV-r} \quad \omega_r]^T \eta_r > 0 \forall t
 \end{aligned} \tag{1}$$

where (x, y) are the coordinates of the robot in the fixed coordinate system, θ represents the rotation angle of the robot with respect of the fixed coordinate system, and η is the bi-dimensional vector of the control signals (average velocity V_{AV} and rotation velocity ω), see (Dragoicea, M., 2000).

4. Fuzzy controllers for reactive navigation

Fuzzy logic provides tools that are of potential interest to mobile robot control. Most applications of fuzzy logic in this field concern the use of fuzzy control techniques to implement individual behavior units. With respect to mobile robotics, fuzzy controllers have shown a good degree of robustness in face of large variability and uncertainty in the parameters. These characteristics fit well the needs of autonomous navigation where a mathematical model of the environment is usually not available, sensor data is uncertain and imprecise and real-time operation is a must.

In this work, reactive behaviors are all implemented as fuzzy logic controllers (FLC). As can be seen in figure 4.1, the input and output variables to the controller are identified to be the sensory inputs (in each of the four abstracted directions), respectively, the left and right motor controls (or wheels velocities). The general architecture of the FLC that is used to control the robot's motion is designed as shown in figure 4.1.

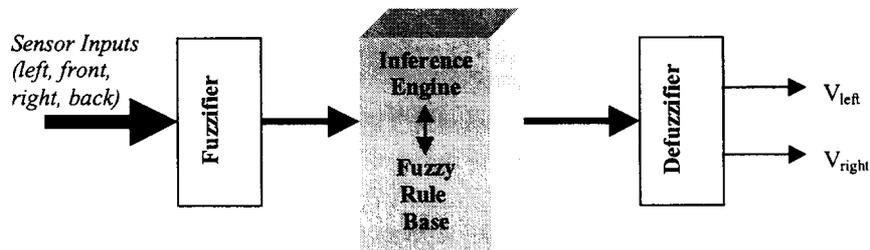


Figure 4.1 The architecture of the FLC used for elementary behavior implementation

At present, in the current implementations of the reactive based controllers the fuzzy control rules are aggregated within a single rule base and they are processed by a unique fuzzy inference engine. The main advantage of such an approach is that behavior integration is thus implicit in the structure of the system. The main drawback is that the arbitration mechanism (figure 2.1) is beyond the user's control, i.e. is hardly possible to give more importance to a specific behavior or even rule.

Therefore, considering the strategy presented in section 2, this work proposes a new approach for designing a *fuzzy reactive multi-control system*, in which each behavior is realized as a separate FLC. The multiple outputs are merged together by a gating system acting as a supervisory module (under a certain arbitration strategy). In this way, it is possible that simpler behaviors are combined in order to obtain more complex navigation behaviors.

5. Implementing fuzzy behaviors

Since the environment is initially unknown, global motion planning techniques are inapplicable. Reflex-based or reactive approaches, on the other hand, are very suitable as they allow the robot to move around and react to perceived events such as object detection, contact or collision, etc. Fuzzy control for instance is a popular and effective technique for realization of such reactive behaviors, even more so in uncertain environments. Behaviors are formulated using fuzzy "perception – action" rules, which are then periodically applied to control the

vehicle. Real-time obstacle avoidance, trajectory tracking, and other manoeuvres can be realized successfully. Fuzzy control based reactive behaviors provide navigation skills such as wall following, collision avoidance, tracking a specified position, etc. As the robot explores the environment, complex reactive navigational capabilities of a mobile agent could be obtained, as further explained.

Fuzzy controllers are typically designed to consider one single goal. For the implementation of two or several interacting goals, there are two possibilities. First of all, one can write a set of complex rules whose antecedents consider both goals simultaneously (Pasquier, M., 1998), for example:

```
IF path_cond1 AND obstacle_cond1 THEN command1
IF path_cond2 AND obstacle_cond2 THEN command2
```

A second approach, that is used in this work, would use fuzzy rules of the general form:

```
IF path_cond THEN command1
IF obstacle_cond THEN command2
```

The first solution considers the implementation of a complex behavior by a monolithic or a particular set of rules. It can take better care of the interactions between the goals, and should be preferred when these interactions are important (Saffiotti, A., 1999). Unfortunately, the monolithic solution can easily become intractable, as the number of rules tends to grow exponentially in the size of the input space. When this space is large, a partitioned solution is likely to be easier to write and to debug; however, this solution leaves us with the difficult problem of how to re-combine the outputs of the individual rule-sets, as it will be explained in a further section of this work. Three different behaviors are implemented here: the position tracking behavior, the wall following behavior, collision avoidance behavior.

5.1 The position tracking behavior

Position tracking is a very simple behavior that can be used together with other elementary behaviors in order to obtain more complex control strategies for autonomous navigation. The position tracking behavior allows the robot to move from a known initial position, specified by the triple (x_0, y_0, θ_0) , to a certain target position with the coordinates (x_f, y_f, θ_f) , according to the kinematic model (equation 1) of the mobile robot (Dragoicea, M., 2000). Figure 5.1 presents a schematic diagram of the controller for position tracking behavior.

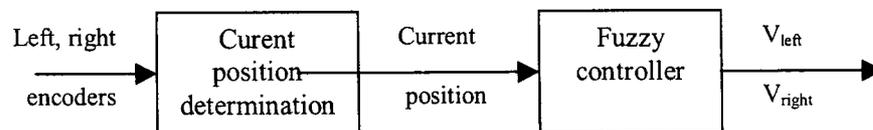


Figure 5.1 The bloc diagram of the position tracking controller

The following functional modules are used:

a) Current position determination module

This module computes the current position of the robot based on the two measurements from the wheels encoders. This two measurements, together with the position at time k are used in the kinematic model in order to determine the position of the robot at time $k+1$. Therefore, we determine the distance $(\Delta x_k^{k+1}, \Delta y_k^{k+1}, \Delta \theta_k^{k+1})$ between k and $k+1$ steps. It is supposed that time steps k and $k+1$ are close enough so that in this time interval the robot moves on a circle with the radius R_k and with the center situated in the instantaneous center of rotation (CIR), see figure 5.2. The current position can be easily determined using the circle equations in a simple geometric algorithm.

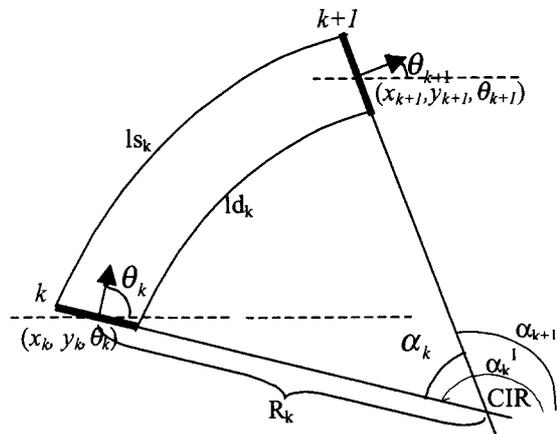


Figure 5.2 Current position determination

b) Fuzzy controller for cruise control

The goal of this controller is to keep the robot on the specified direction and to stop it when the target position was reached. The two inputs to this fuzzy controller are the distance to the target position and the robot deviation with regard to the target, measured as the difference between the direction of the robot and the direction to the target (figure 5.3). The two outputs of the fuzzy controller for position tracking are the two wheels velocities.

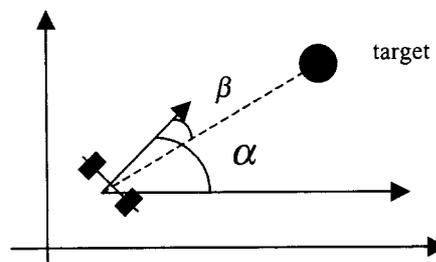


Figure 5.3 Robot deviation

For the input that represents the deviation from the target position the following linguistic degrees are defined (see figure 5.4):

- **P**(ozitive) – the target is situated on the left side of the robot;
- **S**(mall)**P**(ositive) – there is a small positive deviation;

- **B(ig)P(ositive)** – there is a big positive deviation;
- **N(egative)** – the target is situated on the right side of the robot;
- **S(mall)N(egative)** – there is a small negative deviation;
- **B(ig)N(egative)** – there is a big negative deviation;
- **Z(ero)** – the robot is on the direction of the target;

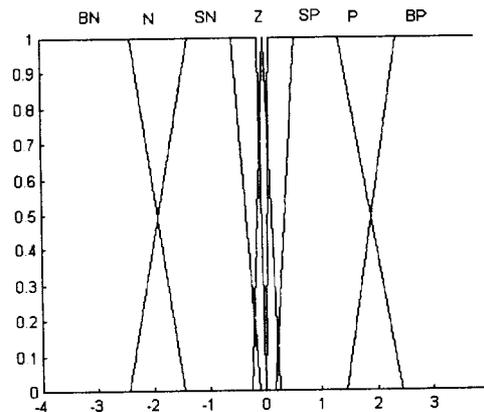


Figure 5.4 The input variable deviation

The rule base for position tracking implements a simple guiding mechanism that takes into consideration the distance the robot has to cover and its direction.

5.2 The wall following behavior

The wall following behavior is a tracking control mechanism able to follow any continuous surface at some fixed distance from contact, a feature that is most useful when mapping an unknown environment. The fuzzy controller that implements this behavior consists of two controllers, one for right wall following, the second one for left wall following. Therefore, the mobile robot will also be able to enter a corridor and to execute a movement between two walls. The final control signal for the robot (i.e. the wheels velocities) is established by a mediator that weights the outputs of the two controllers (see figure 5.5), the weighting factor depending on the current state (context) of the robot.

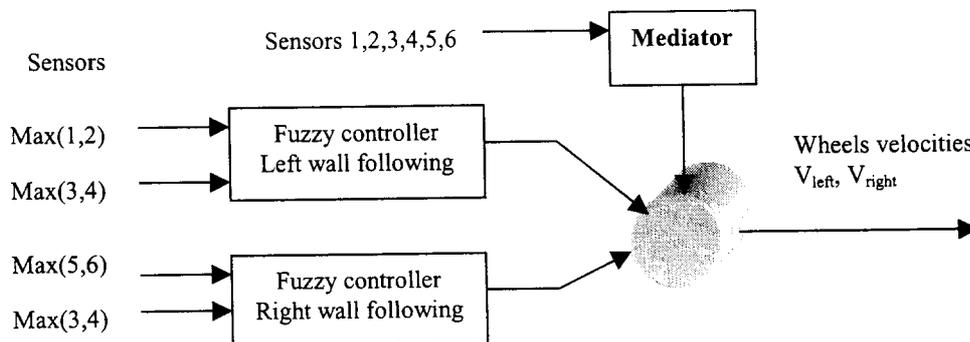


Figure 5.5 A schematic diagram of the wall following fuzzy hierarchic controller

The inputs for the two fuzzy controllers, as well as for the mediator, are the information received from the distance sensors of the robot. As can be easily seen in figure 5.5, the inputs for the left wall following consist on the information received from the two sensors at the left side (number 1 and 2) and the information received from the two sensors at the front side (number 3 and 4). In the same manner, the inputs for the right wall following consists on the information received from the two sensors at the right side (number 5 and 6) and the information received from the two sensors at the front side (number 3 and 4).

Because on each side there are two sensors, the maximum value of the two signals will be considered in order to increase the sensibility of the controllers. In this way, the number of the inputs for each controller is minimized and the implementation is simplified.

The first input of the left wall following fuzzy controller is the maximum value between the values given by the two left sensors, $\max(1,2)$. We attach to this variable the linguistic variable **sstg**, for which the following linguistic values can be defined (see figure 5.6):

- **FAR** – the distance between the robot and the wall is big, or the robot does not detect the wall;
- **MEDIUM** – the distance between the robot and the wall is medium;
- **CLOSE** – the distance between the robot and the wall is very small;
- **OK** – is the current distance between the robot and the wall.

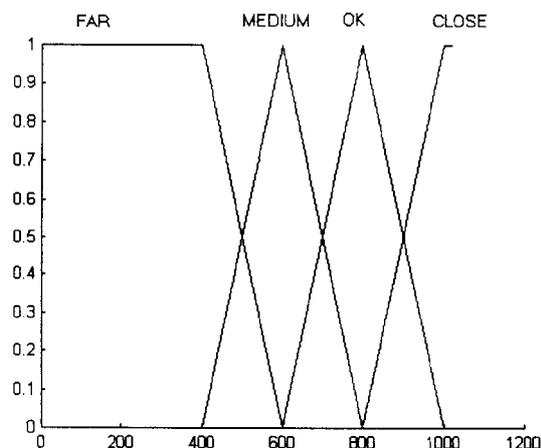


Figure 5.6 Input variable **sstg** for the left wall following controller

The second input of the left wall following fuzzy controller is the maximum value between the values given by the two front sensors, $\max(3,4)$. We attach to this variable the linguistic variable **sfata**, for which the following linguistic values can be defined (see figure 5.7):

- **OK** – the distance between the robot and the front wall is big enough or there is no wall in front of the robot;
- **MEDIUM** – the distance between the robot and the front wall is medium;
- **SMALL** - the distance between the robot and the front wall is small;
- **CLOSE** – the robot is placed near the wall.

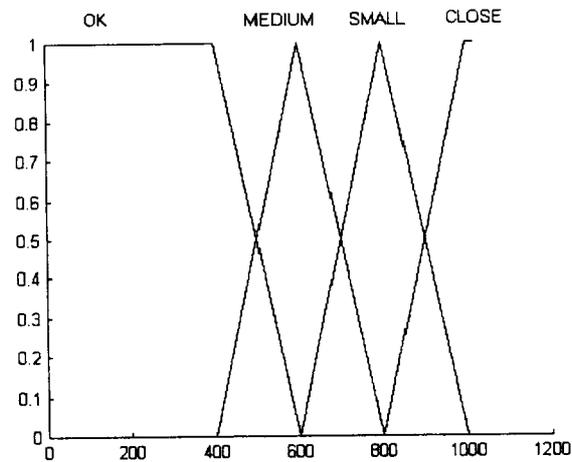


Figure 5.7 Input variable **sfata** for the left wall following controller

The two outputs of the left wall following fuzzy controller are the two wheels velocities, V_{left} and V_{right} . We attach to these variables, respectively, the linguistic variables **vstg** and **vdr**, for which the following linguistic values can be defined (see figure 5.8):

- **ZERO** – the robot velocities are very small (or close to zero);
- **SP** – small positive, the robot drives with small positive velocities;
- **MP** – medium positive, the robot drives with medium positive velocities;
- **LP** – big positive, the robot drives with big positive velocities;
- **SN** – small negative, the robot drives with small negative velocities;
- **MN** - medium negative, the robot drives with medium negative velocities.

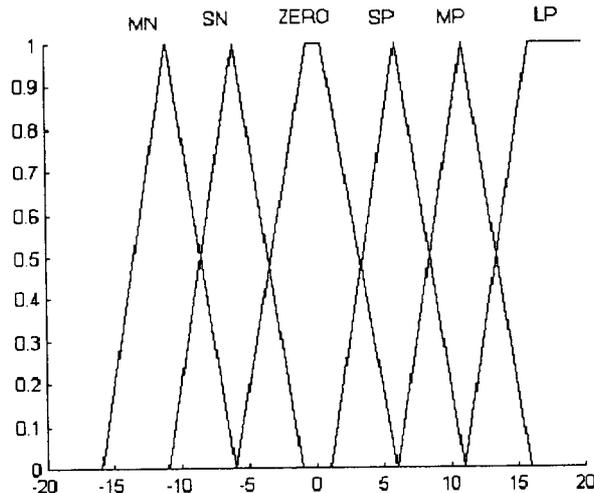


Figure 5.8 Output variables **vstg** and **vdr**

The same strategy can be applied for the right wall following behavior. As can be easily seen in figure 5.6, the inputs for the right wall following consist on the information received from the two sensors at the right side (number 5 and 6) and the information received from the two sensors at the front side (number 3 and 4).

Therefore, the rules for wall following basic behavior implementation looks on the following way:

IF **sfata** is {**X**} and **sstg** is {**Y**} THEN **vstg** is {**Z**}, **vdr** is {**Z**}

where {**X**} represents the set of {**OK, MEDIUM, SMALL, CLOSE**}, {**Y**} is the set of {**FAR, MEDIUM, OK, CLOSE**}, and {**Z**} is the set of {**ZERO, SP, MP, LP, SN, MN**}.

5.3 Collision avoidance behavior

Collision avoidance is a behavior that can be implemented by using the two other behaviors that were presented above. This work proposed the implementation of the position tracking behavior by avoiding the obstacles that can appear in the way to the target. This complex behavior uses the wall following behavior in order to follow the contour of the obstacle. Therefore, the robot goes to the target according to the position tracking behavior; when an obstacle appears on its path to the target, the mediator will make the switch to the wall following behavior, the shape of the obstacle is followed till the obstacle remains behind the robot, then the way to the target being free, the position tracking behavior will guide the robot again. These two behaviors are coordinated by a mediator, as it will be later explained.

6. Combining behaviors

As previously mentioned, wall following is a more complex behavior implemented by two basic behaviors, i.e. left wall following and right wall following behaviors (figure 5.6). The mediator for wall following behavior (figure 6.1) realizes a weighting action of the control signal generated by the two fuzzy controllers (for left and right wall following). The weighting strategy will influence one of these two controllers, according to the context in which the robot evolves (i.e. sensors measurements). As can be seen from the figure 6.1, the inputs to the fuzzy mediator are the values of the left, right and front sensors, and its outputs are the weights for the two fuzzy controllers for left and right wall following.

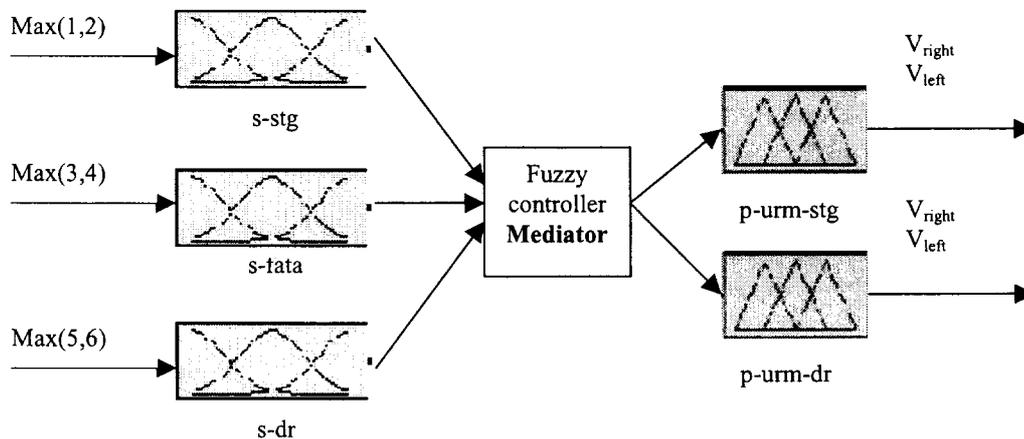


Figure 6.1 The mediator for the wall following behavior

For each of the three inputs (**s-stg**, **s-fata** and **s-dr**) a single linguistic value is defined (**obst-stg**, **obst-fata** or **obst-dr**), that shows the presence of the wall (obstacle) on that direction (figure 6.2).

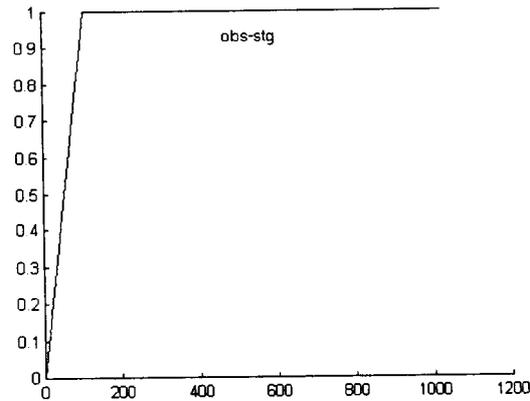


Figure 6.2

Following the above mentioned arbitration strategy, at the limit, the mediator will give a weight 1 to the right wall following fuzzy controller and a 0 weight to the left wall following fuzzy controller if there is a wall (obstacle) on the right side of the robot and there is nothing on the left. If there is no wall (obstacle) detected by the sensors, then both weights will have a zero value and the robot drives right ahead till a wall (obstacle) will be detected.

Therefore, for the outputs of the mediator (**p-urm-stg** and **p-urm-dr**) the following linguistic variables can be defined:

- **0** – a 0 value weight will be given to the specified controller
- **0.5** - a 0.5 value weight will be given to the specified controller
- **1** - a 1 value weight will be given to the specified controller

For the outputs of the mediator the membership functions could be defined in the same way (figure 6.3):

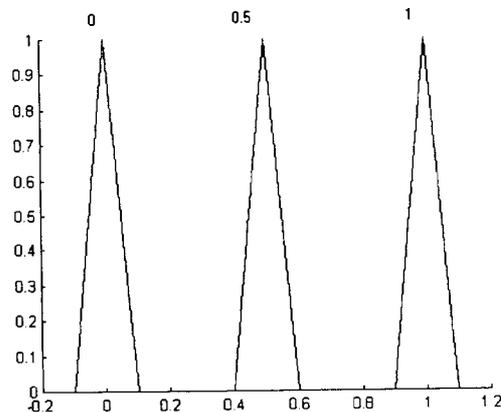


Figure 6.3

Therefore, the rules implemented by the mediator for behavior arbitration and command fusion looks in the following way:

IF (**s-stg** is {**X**}) AND (**s-fata** is {**Y**}) AND (**s-dr** is {**Z**}) THEN **p-urm-stg** is {**S**}, **p-urm-dr** is {**S**}

where {**X**} is the set {**obs-stg**, **not obs-stg**}, {**Y**} is the set {**obs-fata**, **not obs-fata**}, {**Z**} is the set {**obs-dr**, **not obs-dr**}, and {**S**} is the set {**0**, **0.5**, **1**}.

The mediator for position tracking with obstacle avoidance behavior will decide if an obstacle appeared and if it has to switch to and back from the position tracking controller. This mediator will take of three basic behaviors, position tracking, left wall following behavior and right wall following behavior, according to the measurements obtained from the sensors (figure 6.4).

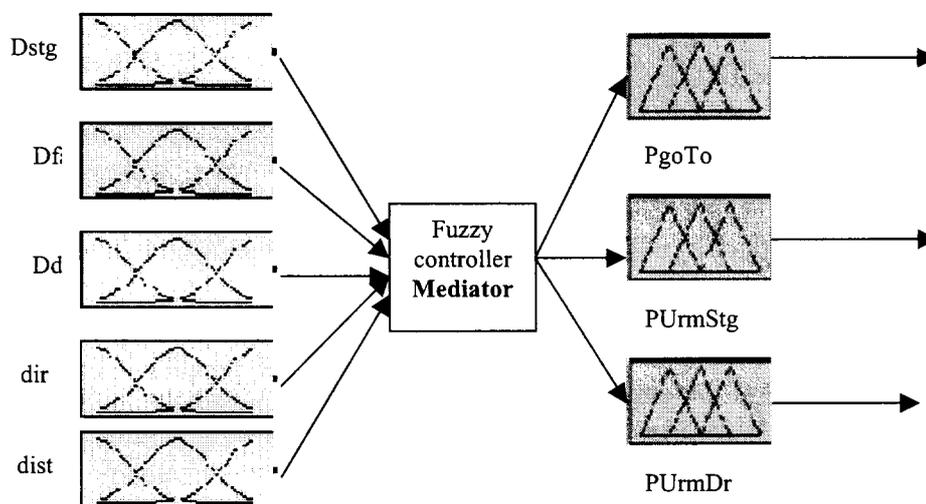


Figure 6.4 The mediator for position tracking with obstacle avoidance behavior

The mediator for position tracking with obstacle avoidance behavior has five inputs, three that specify the distance to the obstacles with respect to the three directions (left, front, right) and two that specify the distance to and the deviation from the target, as previously shown. For the first three inputs, **Dstg**, **Dfata**, and **Ddr**, a single linguistic variable was defined (figure 6.5):

- **Este** – specifies if an obstacle is on that direction, and if so, how close.

The **dir** input specifies the deviation from the target as it was previously described in section 5.1. For this input three linguistic variables were defined (figure 6.6):

- **Negative** – the target stays on the right side of the robot; the value of the angle that measures the deviation is negative;
- **Zero** – the target is in front of the robot; in this case, the value of the angle that measures the deviation is very small (positive or negative);

- **Positive** – the target is on the left side of the robot; the value of the angle that measures the deviation is positive.

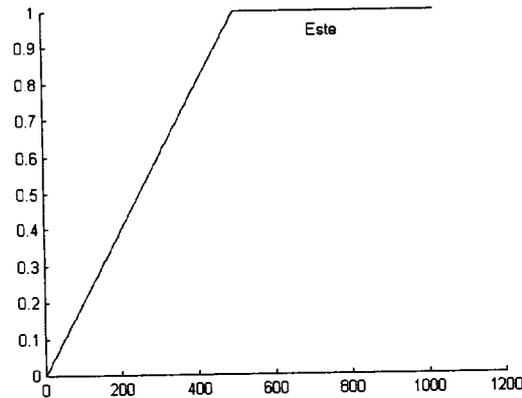


Figure 6.5 The membership function for the **Dstg**, **Dfata** and **Ddr** inputs

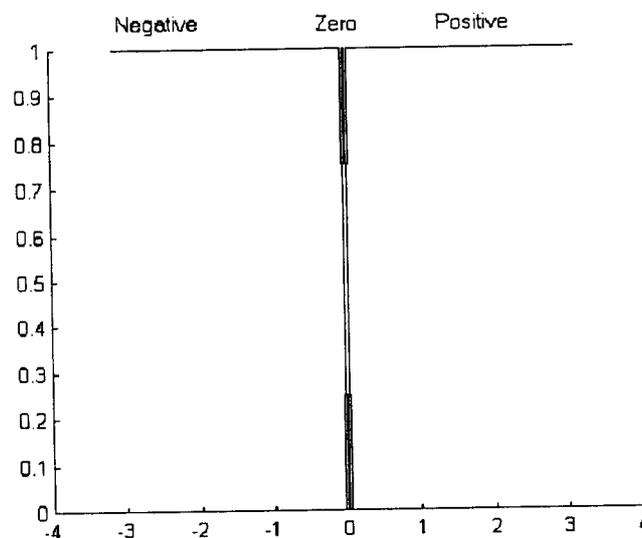


Figure 6.6 The membership function for the input **dir** to the mediator

The fifth input, **dist**, measures the distance between the robot and the target, and for it a single linguistic variable was defined (figure 6.7):

- **0** – specifies how close to the target the robot is.

The three outputs of the mediator, **PgoTo**, **PurmStg** and **PurmDr**; represents the weights that will be used in order to compute the control signal for the control of the mobile robot. For each of them, the following linguistic variables were defined (figure 6.8):

- **0** – a 0.0 value weight will be given to the specified controller
- **0.5** - a 0.5 value weight will be given to the specified controller
- **1** - a 1 value weight will be given to the specified controller.

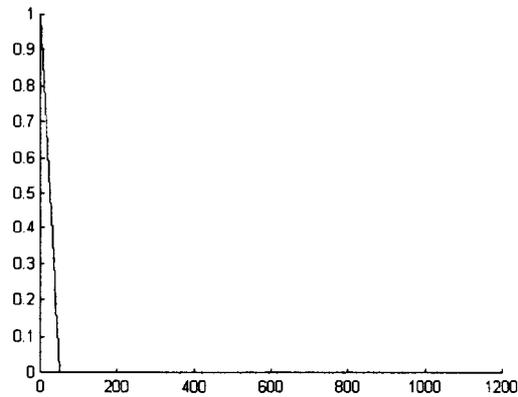


Figure 6.7 The membership functions for the input **dist** of the mediator

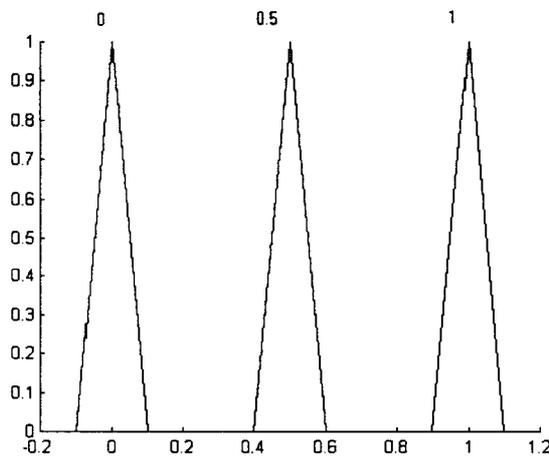


Figure 6.8 The membership function for the output of the mediator for position tracking with obstacle avoidance

Therefore, the rule base for the mediator for position tracking with obstacle avoidance behavior follows this strategy:

IF (**Dstg** is {**X**}) AND (**Dfata** is {**X**}) AND (**Ddr** is {**X**}) AND {**dir** is {**Y**}} AND {**dist** is {**Z**}} THEN **PgoTo** is {**S**}, **PurmStg** is {**S**}, **PurmDr** is {**S**}

where where {**X**} is the set {**Este**, **not Este**}, {**Y**} is the set {**Positive**, **not Positive**, **Zero**, **Negative**, **not Negative**}, {**Z**} is the set {**0**, **not 0**}, and {**S**} is the set {**0**, **0.5**, **1**}.

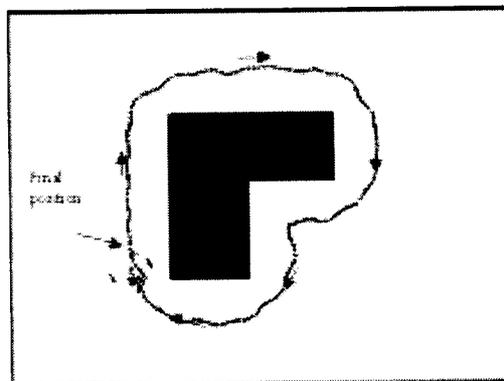
7 Results

The fuzzy reactive multi-control strategy that was proposed in this paper allows obtaining very good results with less effort for developing fuzzy controllers for behavior implementation. In this section, some results that highlights the control strategy efficiency are presented. As can be seen in figure 7.1a), the robot starts wandering from the specified initial position, follows the contour that is placed on its right and finally comes back to the initial

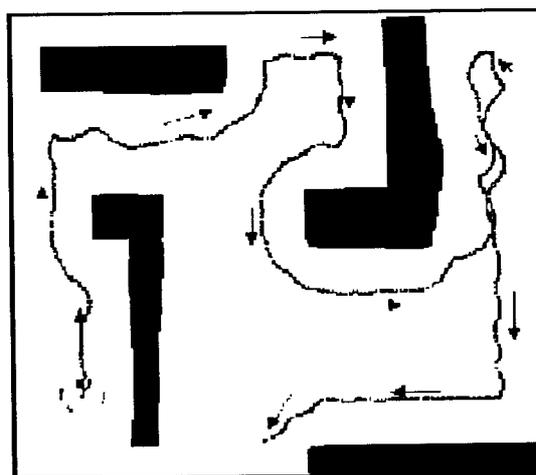
position. In figures 7.1b) and 7.1c) two more complex contours were designed, and in each of them the robot easily finds its way.

The position tracking behavior was tested in a specified environment, where the robot has to fulfil a specified task, i.e. that one of moving along a specified path for which certain points are previously determined. This behavior was combined with the wall following behavior, as previously mentioned.

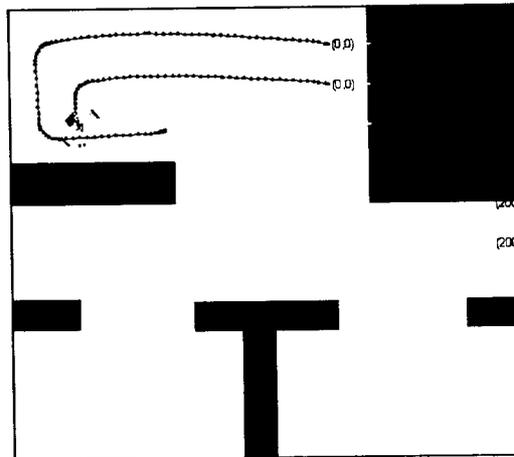
As can be seen in figure 7.2, the mobile robot starts from different initial positions, going to the target and passing (eventually) through intermediate specified points. All the figures shows the same evolution. The robot finds its way in different environments, not previously seen or engineered for its evolutions. A high sensibility in detecting the contours is displayed in each of these figures. One reason is the fact that in order to simplify the design of the fuzzy behavior controllers, the maximum of the distance measured by the two sensors in each side was considered. This fact increases the sensibility of the controllers but the trajectory followed by the robot is not very smooth. Anyway, the robot finds its way at a safe distance from the obstacles (walls).



a)



b)



c)

Figure 7.2 Position tracking with obstacle avoidance behavior

8 Conclusions

This paper proposes a strategy for mobile robot control that naturally integrates intelligent techniques for autonomous navigation. Following the more general deliberative / reactive approach, the robot has the possibility to plan (in a deliberative way) the most suitable way to split its global task into subtasks, i.e. to make a mission plan. Then it can determine the suitable behaviors in order to fulfil the sub-tasks. These behaviors are to be executed in a reactive way. The paper presents a simple way to mediate between the elementary behaviors by using fuzzy logic techniques. These intelligent techniques have very important advantages for mobile robots control, the most important being that of writing simple and effective behaviors for a variety of tasks.

The organization of the control strategy is of PLAN, PERCEPTION - ACTION type. The planning is realized in a single step, while the PERCEPTION - ACTION steps are realized together.

The main advantage of the proposed reactive multi-control strategy based on elementary behaviors is that the arbitration mechanism (i.e. a function of type PLAN) is under user's control, that means it is possible to give more importance to a specific behavior or even rule according to the context in which the robot evolves (i.e. task to be fulfilled and environment conditions).

The PERCEPTION functions are organized in this strategy in a way that combines deliberative and reactive styles. The data received from the sensors are directed to each of the fuzzy controllers ("behaviors") that needs them. At the same time, this sensed information will be used by the "planning" module (i.e. the mediator) that will weight the output of the elementary behaviors in order to obtain the desired emergent behavior.

The results that were obtained here clearly demonstrates that the robot has the ability to navigate through different contours, to navigate in narrow paths and to avoid corner walls. More than that, the proposed solution that uses a fuzzy arbitration strategy allows an

immediate expansion of the reactive control module by taking into consideration different other elementary behaviors.

9 References

- Arbib, M. A. , 1981, Perceptual structures and distributed motor control. In Brooks, V., editor, Handbook of Physiology { The Nervous System II, pages 1449-1465. American Physiological Society, Bethesda, MD.
- Brooks, R. B. , 1986, A robust layered control system for a mobile robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2(1), pp. 14 – 23
- Castellano, G., Attolico, G., Stella, E., and Distanto, A., 1997, Optimisation of fuzzy controller for behavior – based robot navigation, Proc. of the Joint 1997 Pacific Asian Conference on Expert Systems / Singapore Internat. Conference on Intelligent Systems, Singapore, pp. 529-536
- Dragoieca, M., 2000, Contribution to the design of adaptive control systems using neural networks, PhD Thesis, University Politehnica Bucharest
- Dumitrache, I., 1998, Intelligent Control of Industrial Robots, Ed. Mediamira
- Dumitrache, I., 2000, Intelligent Autonomous Systems, Revue Roumaine des Sciences Techniques - Electrotechnique et Energetique, vol. 45, No. 3, pp. 439-453, Bucarest
- Gat, E., 1992, Integrating planning and reacting in a heterogeneous asynchronous architecture for controlling real-world mobile robots. In Proc. of the AAAI Conf., pages 809-815, San Jose, CA.
- Li, G., 1999, Towards on-line learning agent for autonomous navigation, PhD Thesis, Chalmers University of Technology, Goeteborg,
- Mataric, M., 1992, *Integration of representation into goal-driven behavior-based robots*, IEEE Trans. Robot. Automat., 8(3):304-312
- Murphy, R. R., 2000, *Introduction to AI Robotics*, MIT Press
- Pasquier, M., Lim, Li-Hwa, 1998, *Fuzzy world – reactive behaviours and environment exploration strategies*, The 5th Int. Conference on Control, Automation, Robotics and Vision ICARCV'98, Singapore
- Saffiotti, A., 1997, *The uses of Fuzzy Logic in Autonomous Robot Navigation*, IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles, Technical Report TR/IRIDIA/97-6
- Saffiotti, A., Ruspini, E., Konolige, K., 1999, Using fuzzy logic for mobile robot control, In: Practical Applications of Fuzzy Technologies, H-J. Zimmermann, editor Kluwer Academic Publisher, pp. 185-206

Backstepping – Ein Rekursives Entwurfsverfahren für den Nichtlinearen Regelungsentwurf

Teil 1: Grundlagen und Einführung

A. Viehweider
Technische Universität Wien
Institut für Automatisierungstechnik und Regelungstechnik
Gusshausstrasse 27-29/376
A – 1040 Wien
Telefon: +43 1 58801 37624
email: viehweider@acin.tuwien.ac.at

Kurzfassung

Die Regelung nichtlinearer Systeme hat im letzten Jahrzehnt bedeutende Fortschritte gemacht. Konstruktive rekursive Methoden rücken immer mehr in den Mittelpunkt des Interesses, da Robustheit gegenüber unsicheren Nichtlinearitäten in den Entwurf miteingebracht werden kann.

Im 1. Teil dieses Beitrags wird die Backstepping-Entwurfsmethodik als solches vorgestellt. Das sog. Integrator-Backstepping wird im Detail erklärt, ist es doch Ausgangspunkt für erweiterte Verfahren. Einer kurzen Diskussion bzgl. der Regelkreiseigenschaften Optimalität und Robustheit folgt eine Besprechung möglicher Varianten und Erweiterungsmöglichkeiten. Überlegungen zu Aufwand der Implementation sowie Vereinfachungen des Verfahrens schließen den Artikel ab.

Im 2. Teil des Beitrags [Vieh03] wird ein neuartiger hybrider robuster Ansatz zur Regelung von Manipulatoren basierend auf diesem Entwurfsverfahren vorgestellt.

1 Einleitung

Ein wichtiger Ansatz im Regelungsentwurf für nichtlineare Systeme ist die in den späten 70'er Jahren eingeführte Exakte Linearisierung (*feedback linearization*), die auf differentialgeometrischen Methoden beruht. Die Exakte Linearisierung ermöglicht es, für eine beachtliche Menge von nichtlinearen Systemen, eine geeignete Zustandstransformation (Diffeomorphismus) und Zustandsrückführung anzugeben, um ein lineares System in neuen Koordinaten zu erhalten. Die Linearisierung ist dabei nicht auf eine Umgebung eines Arbeitspunktes beschränkt und stellt auch keine Näherung 1.Ordnung dar, sondern umfasst je nach System den gesamten Zustandsraum oder aber einen Teilbereich. Die Methodik wurde auf eine Vielzahl von mechanischen Systemen (Induktionsmotor [Jera01], Asynchronmaschine [Kugi95], Manipulatoren ...) und chemische „Prozesse“ angewandt.

Dennoch weist die Exakte Linearisierung bedeutende Nachteile auf; die sich ergebende Zustandsrückführung kompensiert die Nichtlinearitäten unabhängig davon, ob sie einen stabilisierenden oder destabilisierenden Einfluss auf das System haben. Es können dadurch Systeme mit - selbst im Nominalfall - nicht ausreichender Stabilitätsreserve entstehen. Backstepping als rekursives Entwurfsverfahren legt keinen Wert auf eine Linearisierung des Systems, die im Sinne einer weiteren Betrachtung mithilfe der linearen Regelungstheorie vorteilhaft wäre, sondern legt in jedem Entwurfsschritt gewisse Eigenschaften des Systems fest. Dieses Merkmal des Entwurfsverfahren erlaubt die unmittelbare Berücksichtigung von Unsicherheiten im Entwurf. Backstepping zählt zu den Lyapunov-basierten Entwurfsverfahren und wird seit dem Beginn der 90'er Jahre eingesetzt.

2 Exakte Linearisierung als Ausgangspunkt

Betrachtet sei folgendes bekanntes nichtlineares eingangsaffines SISO-System

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})u \\ y &= h(\mathbf{x}),\end{aligned}\quad (1)$$

wobei $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}^n$ den Zustand, $u \in \mathfrak{R}$ den Eingang und $y \in \mathfrak{R}$ den Ausgang des Systems bezeichnen. Erfüllt dieses System Theorem A1 (Siehe Anhang), so existiert ein globaler Diffeomorphismus (Koordinatentransformation) $\mathbf{z} = \mathbf{T}(\mathbf{x}), \mathbf{z} \in \mathfrak{R}^n$, eine glatte Funktion φ und

eine Zustandsrückführung¹ $u = -\frac{L_f^n \varphi}{L_g L_f^{n-1} \varphi} + \frac{1}{L_g L_f^{n-1} \varphi} v$, $v \in \mathfrak{R}$, so dass das System in der

Brunovsky Steuerbarkeitsform global dargestellt werden kann als eine Integratorkette mit

$$\dot{\mathbf{z}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix} \mathbf{z} + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} v \quad (2)$$

und neuem Systemeingang v .

Entspricht der globale Differenzegrad r des Systems nicht der Systemordnung, so kann nur bezüglich des Ein-Ausgangsverhaltens des Systems ein lineares Ersatzsystem angegeben werden. Dieses lineare System ist von niedrigerer Ordnung als das eigentliche System. Für das verbleibende nichtbeobachtbare nichtlineare Teilsystem muss explizit Beschränktheit

¹ Hierbei wird die sog. Lie-Ableitung L herangezogen. Es ist dies ein Operator, welcher im wesentlichen die

Ableitung einer Funktion entlang eines Vektorfeldes darstellt $L_{f(\mathbf{x})} \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{f}(\mathbf{x})$. Mit $L_{f(\mathbf{x})}^n \varphi$ wird die n -

fache Hintereinanderausführung des Operators bezeichnet. Näheres kann in [Mari95] oder in anderen Bücher zur Differentialgeometrie gefunden werden.

nachgewiesen werden. Die Erweiterung auf ein nicht eingangsaffines System erfolgt durch die zusätzliche Systemgleichung $\dot{u} = v$.

Durch die Überführung des Systems Gl.(1) in Gl.(2) durch geeignete Koordinatentransformation und Zustandsrückführung können herkömmliche lineare Reglerentwurfverfahren angewandt werden. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass Unsicherheiten in der Modellierung des Systems bei nominaler Zustandslinearisierung zu zusätzlichen Nichtlinearitäten und zusätzlichen Kopplungen der Systemvariablen in Gl.(2) führen. Dies kann Instabilität bzw. verschlechterte Eigenschaften des Gesamtsystems bewirken.

Eine Möglichkeit der Verbesserung der Robustheit des Regelkreises bzgl. parametrischen Unsicherheiten des Modells ist in [Kola01] aufgezeigt. Es wird dabei eine Zustandslinearisierung für den Nominalfall um einen robusten Regler ergänzt: Die parametrischen Unsicherheiten des nichtlinearen Modells werden zunächst auf zusätzliche Unsicherheiten im linearisierten System nach Gl.(2) (Integratorkette) umgerechnet, um sodann um den *steady state* in z-Koordinaten in einer Taylorreihe entwickelt zu werden. Hierbei wird nur der lineare Term betrachtet und die höheren Terme als im Betrag beschränkt betrachtet. Die Aufgabe wird zurückgeführt auf die Entwicklung eines robusten Reglers für ein lineares parametervariantes System mit beschränktem Störeingang Δ (Abb.1).

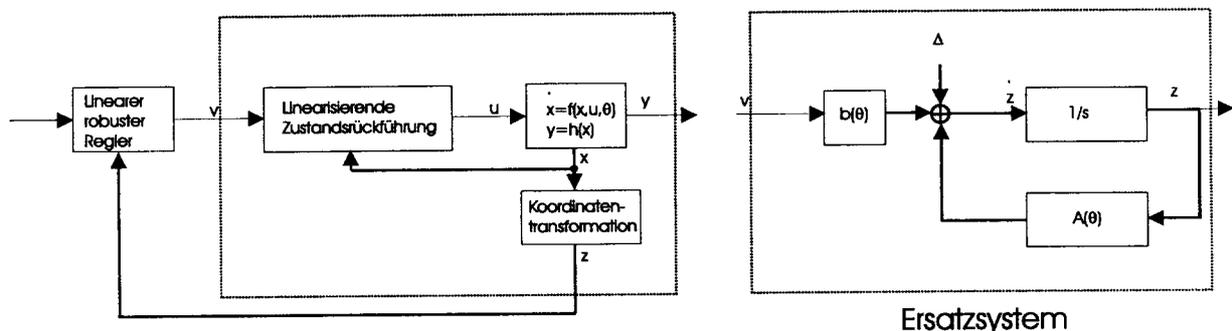


Abbildung 1: Robuste lineare Regelung eines nichtlinearen, zustandslinearisierten Systems

Lässt sich für Δ keine obere Grenze angeben, so ist dieses Verfahren nicht anwendbar. Führt die Art der Nichtlinearität zu einer hohen Schranke für Δ , so ist die Qualität der Regelung bei vernünftigem Stellaufwand gering.

3 Backstepping

Rekursive nichtlineare Entwurfverfahren schaffen Regelgesetze jeweils für ein Teilsystem des nichtlinearen Systemes. In jedem Schritt wird das Teilsystem vergrößert, um damit zu einem Regelgesetz für das Gesamtsystem zu gelangen. Vergleichbar einer Kaskadenanordnung mit unterlagerten Regelkreisen wird in jedem Schritt ein Regelziel erreicht. Im Gegensatz zu einer Kaskadenanordnung wird das hierzu erforderliche Regelgesetz für ein Teilziel nicht direkt auf das System angewandt, sondern stellt ein Zwischenergebnis dar. Im letzten Entwurfsschritt ergibt sich das Regelgesetz für das Gesamtsystem. Es wird nun im folgenden das Integrator-Backstepping besprochen:

Annahme 1 (Stabilität des vorhergehenden Teilsystems)

Backstepping als rekursives Entwurfsverfahren geht von der Annahme aus, dass für das System nach Gl.(1) bereits eine Zustandsrückführung mit $u = \alpha(\mathbf{x})$, $\alpha(\mathbf{0}) = 0$ existiert, sowie eine *glatte, positiv definite, radial unbeschränkte* Funktion V , für welche

$$\dot{V} = \frac{\partial V}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x})[\mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\alpha(\mathbf{x})] \leq -W(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (3)$$

gilt, wobei $W(\mathbf{x})$ eine positiv definite Funktion ist.

Lemma 1 (Integrator Backstepping)

Ist Annahme 1 erfüllt, so existiert für das um einen Integrator erweiterte System

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\xi \\ \dot{\xi} &= u \\ y &= h(\mathbf{x}) \end{aligned} \quad (4)$$

ein Regelgesetz $u = \alpha_{erw}(\mathbf{x}, \xi)$, so dass der Gleichgewichtspunkt $\mathbf{x} = 0$, $\xi = 0$ global asymptotisch stabil ist.

Die Lyapunovfunktion des erweiterten Systems nach Gl.(4) wird angesetzt als

$$V_{erw}(\mathbf{x}, \xi) = V(\mathbf{x}) + \frac{1}{2}[\xi - \alpha(\mathbf{x})]^2 = V(\mathbf{x}) + \frac{1}{2}z^2. \quad (5)$$

Für diese Lyapunovfunktion muss zur Erfüllung der global asymptotischen Stabilität

$$\dot{V}_{erw} \leq -W(\mathbf{x}) + z \left[\alpha_{erw}(\mathbf{x}, \xi) - \frac{\partial \alpha}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x})[\mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\alpha(\mathbf{x})] + \frac{\partial V}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x})\mathbf{g}(\mathbf{x}) \right] = -W_{erw}(\mathbf{x}, \xi) \leq 0 \quad (6)$$

gelten, wobei $z = \xi - \alpha(\mathbf{x})$ entspricht. Die Variable ξ in Gl.(4) wird auch als virtueller Eingang des Teilsystems bezeichnet, da dieser Eingang nicht unmittelbar über den Systemeingang beeinflusst werden kann. Ein Regelgesetz, welches Gl.(6) erfüllt, ist

$$u = \alpha_{erw} = -c(\xi - \alpha(\mathbf{x})) + \frac{\partial \alpha}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x})[\mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\alpha(\mathbf{x})] - \frac{\partial V}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x})\mathbf{g}(\mathbf{x}), \quad c \in \mathfrak{R}, \quad c > 0, \quad (7)$$

wobei c ein Parameter des Reglers mit positivem Vorzeichen ist.

Es muss hierbei angemerkt werden, dass Gl.(7) nur ein mögliches Regelgesetz darstellt und nicht das einzige, welches zur global asymptotischen Stabilität nach Gl. (6) führt.

Das wesentliche Ergebnis des Verfahrens ist das systematische, rekursive Bestimmen einer Lyapunovfunktion Gl.(5) für eine Klasse von nichtlinearen Systemen, deren Ableitung Gl.(6) durch eine Menge von Regelgesetzen negativ definit gemacht werden kann. Durch die Möglichkeit der Auswahl eines Regelgesetzes aus einer Menge von Regelgesetzen stellt Backstepping ein flexibles Entwurfsverfahren dar, dies kann unter anderem zur Reduzierung des Stellaufwandes verwandt werden [Zhao98], sowie zur Einbeziehung von Unsicherheiten.

Der Name „Backstepping“ leitet sich von der Tatsache ab, dass in einem SISO System bei Darstellung durch eine Integratorkette bei jenem Integrator begonnen wird, welcher sich am weitesten vom Systemeingang entfernt befindet und in jedem Schritt ein weiterer Integrator miteinbezogen wird, um eine Stabilisierung eines in jedem Schritt größer werdenden Teilsystems zu erreichen.

Voraussetzung hierzu ist, dass das System im wesentlichen eine „feedback“ Form (Abb. 2) aufweist, z.B. die *strict-feedback* Form

$$\begin{aligned}
 \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\xi_1 \\
 \dot{\xi}_1 &= a_1(\mathbf{x}, \xi_1) + b_1(\mathbf{x}, \xi_1)\xi_2 \\
 \dot{\xi}_2 &= a_2(\mathbf{x}, \xi_1, \xi_2) + b_2(\mathbf{x}, \xi_1, \xi_2)\xi_3 \\
 &\vdots \\
 \dot{\xi}_{n-1} &= a_{n-1}(\mathbf{x}, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{n-1}) + b_{n-1}(\mathbf{x}, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{n-1})\xi_n \\
 \dot{\xi}_n &= a_n(\mathbf{x}, \xi_1, \dots, \xi_n) + b_n(\mathbf{x}, \xi_1, \dots, \xi_n)u.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Die Systemklasse der durch rekursive nichtlineare Verfahren und im näheren durch das Backstepping-Verfahren zu stabilisierenden Systeme kann durch verschiedene Methoden erweitert werden. So kann z.B. durch geeignete Definition der virtuellen Eingänge der Teilsysteme auch jener Fall behandelt werden, bei welchem die Einkopplung der Teilsysteme über eine statische Nichtlinearität erfolgt, also $b_i(\mathbf{x}, \xi_1, \dots, \xi_i)g(\xi_i)$ anstatt $b_i(\mathbf{x}, \xi_1, \dots, \xi_i)\xi_i$ in Gl.(8).

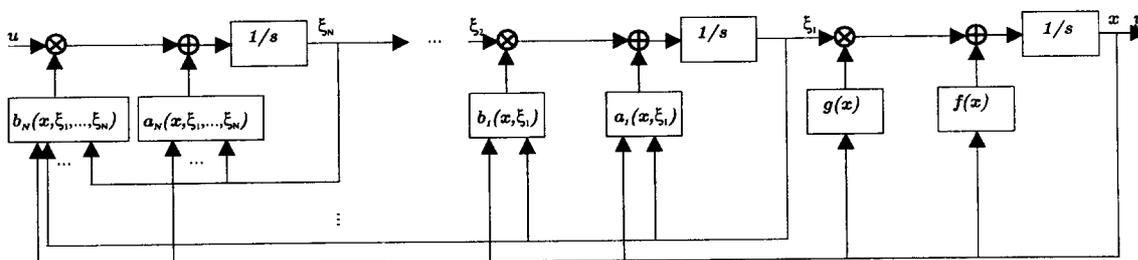


Abbildung 2: Darstellung des strict-feedback Systems nach Gl.(8)

Weiters existiert eine zur Backsteppingtechnik komplementäre Methodik, deren Anwendung auf *strict-feedforward* Systeme beschränkt ist. Durch geeignete Kombination mit abwechselndem Backstepping- und Forwardingschritt lässt sich somit eine beachtliche Klasse von nichtlinearen Systemen regeln [SeJa97].

3.1. Ablaufschema

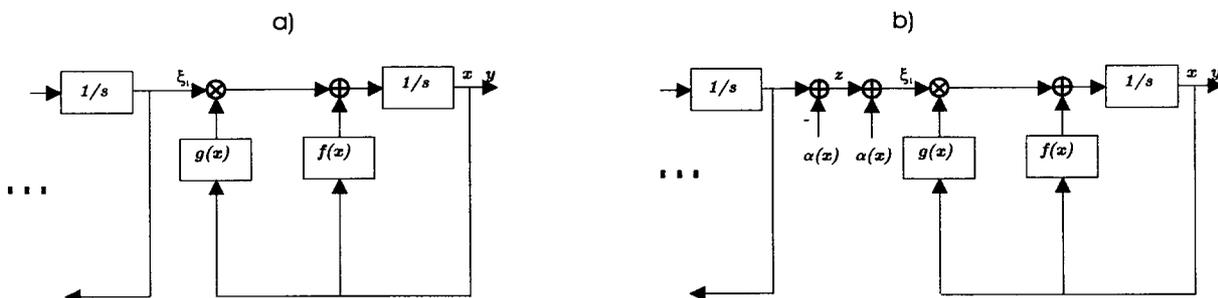
Jeder i -te Entwurfsschritt des Backstepping Verfahrens besteht aus:

- Bestimmung eines geeignet gewählten virtuellen Eingangs ξ_i (*virtual input*): Der virtuelle Eingang kann durch den Systemeingang nicht unmittelbar beeinflusst werden, sondern nur über die Integratorokette. Dennoch ist durch die rekursive Natur des Verfahrens die das Teilsystem stabilisierende Vorgabe $\alpha_{i-1}(\mathbf{x})$ bekannt. Durch eine gedachte positive und negative Aufschaltung von $\alpha_{i-1}(\mathbf{x})$ kann das System wie in Abb. 3 b) angegeben werden.
- Es wird eine Koordinatentransformation $z_i = \xi_i - \alpha_{i-1}(\mathbf{x})$ eingeführt, dh. Ist $z = 0$ so ist das i -te Teilsystem stabilisiert.
- Die negative Aufschaltung der stabilisierenden Vorgabe wird vor den Integrator gezogen (Abb. 3 c), ein evtl. konstanter Anteil kann in den Anfangszustand des Integrators aufgenommen werden. Dies ist der wesentlichste Schritt des Verfahrens. Die zeitliche Ableitung des Regelgesetzes für das i -te Teilsystem kann analytisch berechnet werden:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\partial\alpha(\mathbf{x})}{\partial\mathbf{x}} \dot{\mathbf{x}} = \frac{\partial\alpha(\mathbf{x})}{\partial\mathbf{x}} (\mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})(z + \alpha(\mathbf{x}))) \quad (9)$$

Das Berechnen dieser Ableitung führt durch den rekursiven Charakter des Verfahrens sehr schnell zu hohem Rechenaufwand, besonderes wenn das stabilisierende Regelgesetz zusätzliche zur Erhöhung der Robustheit geeignete Anteile enthält. Die Benutzung von computeralgebraischen Programmen wie z.B. MAPLE[®], MATHEMATICA[®], DERIVE[®] oder ähnliche ist angebracht.

- Der Bestimmung eines virtuellen Regelgesetzes zur Stabilisierung des Subsystems für eine bekannte Lyapunovfunktion nach Gl.(5). Das Regelgesetz muss dermaßen beschaffen sein, dass die Zustände des Systems (\mathbf{x}, \mathbf{z}) bzgl. des Ursprungs global asymptotisch stabil sind.



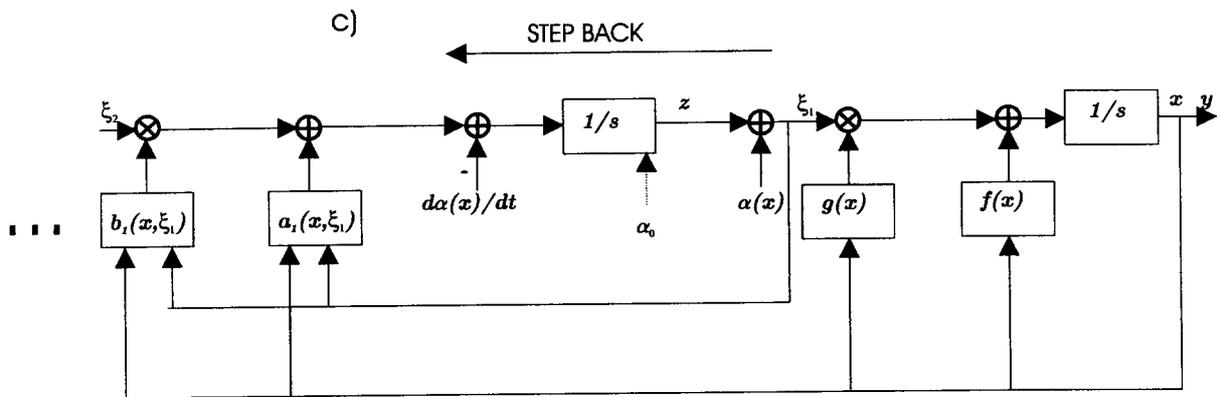


Abbildung 3: Darstellung des Rekursionsschrittes

Bei der konkreten Festlegung des Regelgesetzes gibt es unterschiedliche Möglichkeiten: Eine exakte Kompensation der Nichtlinearitäten (*compensation*) -wie in Gl.(7) angegeben- oder aber die Dominierung (*domination*) von Nichtlinearitäten.

Exaktes Backstepping nach Gl.(7) führt zu folgendem Ersatzsystem für ein System nach Abb.2 in den (\mathbf{x}, \mathbf{z}) -Koordinaten:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\alpha(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})z_1$$

$$\dot{\mathbf{z}} = \begin{bmatrix} -c_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & -c_2 & 1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & -c_3 & \ddots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & 1 \\ 0 & \dots & \dots & -1 & -c_n \end{bmatrix} \mathbf{z} + \begin{bmatrix} \frac{\partial \alpha(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} (\mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})(\alpha(\mathbf{x}) + z_1)) - \frac{\partial V(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{g}(\mathbf{x}) \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

wobei \mathbf{x} die Zustände des Teilsystems sind, für welches bereits ein stabilisierendes Regelgesetz $\alpha(\mathbf{x})$ bekannt ist.

Die Flexibilität des Backsteppingverfahrens liegt in der Tatsache, dass sich eine Menge von Regelgesetzen ergibt, die Gl. (6) erfüllen müssen und dass der virtuelle Eingang sich geeignet wählen lässt. Die sich ergebenden Regler sind statische nichtlineare Regler. Das Gesamtsystem ist stabil, wenn der Punkt $(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = (\mathbf{0}, \mathbf{0})$ global asymptotisch stabil ist, was durch die rekursive Herleitung gewährleistet ist. Die Reglerparameter c_i müssen zur Erfüllung der Stabilität positiv sein. Zur Verbesserung des Störverhaltens lassen sich Regeln bzgl. deren Dimensionierung ausmachen. So konnte in [Zhao98] folgender Zusammenhang der Reglerparameter für gute Störunterdrückung ausgemacht werden

$$c_1 < c_2 < c_3 < \dots \quad (11)$$

Die absoluten Werte der Parameter hängen vom Stellaufwand und der gewünschten Dynamik der Anordnung ab. In der Regel wird man versuchen, bei der Festlegung der Parameter Gl.(11) zu berücksichtigen, um durch lokale Parameteroptimierung zu verbesserten Einstellungen zu gelangen (z.B. unter Verwendung der MATLAB® Nonlinear Control Design Toolbox).

3.2 Robustheit des Regelgesetzes

Exaktes Backstepping - wie in Gl. (7) angegeben - führt zu ähnlichen Problemen wie bei der Exakten Zustandslinearisierung bzgl. Robustheit (Siehe Abschnitt 1 und 2). Da jedoch keine Linearisierung des Systems angestrebt wird, sondern lediglich Gl. (6) erfüllt sein muss, kann in der geeigneten Wahl des Regelgesetzes Abhilfe geschaffen werden. Betrachtet wird hierzu ein System nach Gl. (4) mit $\mathbf{x} = x \in \mathfrak{X}$ und mit $g(x) = 1$ zusätzlich einer Unsicherheit. Im ersten Entwurfsschritt präsentiert sich das System folgendermaßen

$$\dot{x} = f(x) + \Delta f(x, t) + \xi_1, \quad (12)$$

wobei ξ_1 den virtuellen Eingang darstellt.

Lässt sich die Unsicherheit zerlegen in $\Delta f(x, t) = \mu(x)\Delta(t)$ mit $\|\Delta\|_\infty < \delta$, so kann durch Erweiterung des Regelgesetzes um den Term $-s(x)x$ bei geeigneter Wahl von $s(x)$ eine Konvergenz der Zustandsvariablen gegen ein Gebiet um den Ursprung geschaffen werden. Man spricht in diesem Fall von *Ultimate Bounded Stability*, was heißen soll, das nach einer gewissen Zeit der Zustandsvektor sich innerhalb eines Gebietes um den Ursprung befindet. Die Größe dieses Gebietes ist von $s(x)$ und von $\|\Delta\|_\infty$ abhängig. Die Vorgehensweise wird als *Nichtlineare Dämpfung* bezeichnet. Bei der Wahl der Funktion $s(x)$ wird man zum einen versuchen das Gebiet so klein wie möglich zu machen, zum anderen unnötig hohe Dynamik zu verhindern.

Eine andere Möglichkeit ist die Ergänzung um einen *sliding-mode* Anteil, hierbei muss die Unsicherheit $\Delta f(x, t)$ lediglich im Betrag beschränkt sein. Das Regelgesetz und evtl. auch dessen Ableitungen müssen jedoch stetig sein, da dessen zeitliche Ableitungen im nächsten Entwurfsschritt benötigt werden. Die Schaltcharakteristik muss hierzu weich sein.

Ein in der nichtlinearen Systemtheorie wesentliche Charakterisierung für Unsicherheiten ist die sogenannte *matching condition* (Anhang A2). Erfüllt eine Unsicherheit diese Bedingung, so bedeutet das im wesentlichen, dass durch Zustandsrückführung und Diffeomorphismus das System auf eine Form gebracht werden kann, bei welcher der Systemeingang den gleichen „Eingriffspunkt“ wie die Unsicherheit hat. Diese Bedingung ist Voraussetzung für viele Verfahren, Backstepping durch seinen rekursiven Aufbau umgeht dieses Hindernis.

Wird ein Regelgesetz α_{NOM} um einen Anteil α_{ROB} erweitert, der den Unsicherheiten Rechnung trägt und die Stabilisierung auch bei Abweichung vom Nominalfall gewährleistet - im folgenden „robuster“ Anteil genannt - , also

$$\alpha = \alpha_{NOM} + \alpha_{ROB}, \quad (13)$$

so wird in einem weiteren Rekursionsschritt die Ableitung der ein Teilsystem stabilisierenden Funktion α benötigt, diese ergibt sich zu

$$\begin{aligned} \frac{d\alpha(t)}{dt} &= \frac{d\alpha_{NOM}}{dt} + \frac{d\alpha_{ROB}}{dt} = \\ &= \frac{\partial\alpha_{NOM}(x)}{\partial x} (f(x) + g(x)(z + \alpha(x))) + \frac{\partial\alpha_{NOM}(x)}{\partial x} (\Delta f(x) + \Delta g(x)(z + \alpha(x))) + \\ &\quad \frac{\partial\alpha_{ROB}(x)}{\partial x} (f(x) + g(x)(z + \alpha(x))) + \frac{\partial\alpha_{ROB}(x)}{\partial x} (\Delta f(x) + \Delta g(x)(z + \alpha(x))) = \\ &= \left(\frac{\partial\alpha_{NOM}(x)}{\partial x} + \frac{\partial\alpha_{ROB}(x)}{\partial x} \right) (f(x) + g(x)(z + \alpha(x))) + \\ &\quad \left(\frac{\partial\alpha_{NOM}(x)}{\partial x} + \frac{\partial\alpha_{ROB}(x)}{\partial x} \right) (\Delta f(x) + \Delta g(x)(z + \alpha(x))) = \\ &= \left(\frac{d\alpha(t)}{dt} \right)_{\text{certain}} + \left(\frac{d\alpha(t)}{dt} \right)_{\text{uncertain}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Aus Gl.(14) wird ersichtlich, dass die analytische Berechnung sehr aufwendig wird, was gleichbedeutend mit einem komplexen Regelgesetz ist. Sei es der nominale Anteil, als auch der „robuste“ Anteil des Regelgesetzes sind an der Auswirkung der Unsicherheit im nächsten Entwurfsschritt beteiligt. Der „robuste“ Anteil für den nächsten Entwurfsschritt ist also auch abhängig vom verwendeten Regelgesetz für das vorhergehende Teilsystem. Voraussetzung für die Existenz eines Regelgesetzes für das erweiterte System ist natürlich die Stetigkeit des Regelgesetzes für das Teilsystem.

3.3 Optimalität des Regelgesetzes

Das Einbringen von Optimalitätsüberlegungen in den rekursiven Reglerentwurf ist schwierig und Gegenstand der aktuellen Forschung. Zudem setzt ein Entwurf für ein nichtlineares System nach Gl.(1) für ein Gütekriterium der Form

$$J = \int_0^{\infty} (q(\mathbf{x}) + \mathbf{u}^T \mathbf{R}(\mathbf{x}) \mathbf{u}) dt \quad (15)$$

das Lösen der Hamilton-Jacobi-Isaacs-Gleichungen voraus, was im allgemeinen nicht möglich ist. Aus der Tatsache, dass die konkrete Auswahl von $q(\mathbf{x})$ und $\mathbf{R}(\mathbf{x})$, sofern gewisse

Minimaleigenschaften erfüllt werden ($q(\mathbf{x}) > 0, \mathbf{R}(\mathbf{x})$ positiv definit), insbesondere Robustheitseigenschaften in einem großen Rahmen unverändert lässt, hat zu einer Entwurfsart geführt, die als *Inverse Optimalität* bezeichnet wird. Hierbei wird zunächst ein Regelgesetz entworfen, von dem bekannt ist, dass es ein Gütekriterium nach Gl.(17) erfüllt, wobei $q(\mathbf{x})$ und $\mathbf{R}(\mathbf{x})$ zunächst unbekannt sind. In [Ezal00] wird für ein SISO System durch einen Backstepping-Entwurf lokale Optimalität (für die Linearisierung an einem Arbeitspunkt mit vorgegebenem Gütekriterium) und globale inverse Optimalität geschaffen. Der rekursive Entwurf gelingt mittels einer geeigneten Zerlegung (Cholesky-Faktorisierung) der Gütematizen \mathbf{Q} und \mathbf{R} für das lineare System. Die Betrachtungen sind auf ein lokal steuerbares System beschränkt und behandeln nicht den allgemeinen MIMO-Fall.

4 Varianten und Erweiterungsmöglichkeiten

Durch die Möglichkeiten der Systematisierung des Backstepping-Entwurfs lassen sich algorithmische Reglerentwurfsmethoden unter Einbeziehung von Computeralgebra für verschiedene Systemklassen angeben. Nichtsdestoweniger sollte Backstepping in erster Linie als eine Entwurfsphilosophie angesehen werden, denn als eine isolierte Vorgehensweise für bestimmte Systemklassen. Eine Kombination mit anderen Verfahren ist möglich.

Es sollen an dieser Stelle einige Varianten des Verfahrens angesprochen werden:

4.1 Observer backstepping

Die Verfügbarkeit aller Messgrößen ist in der Praxis nicht immer gegeben. Mithilfe eines Beobachters können Schätzwerte der Zustandsgrößen gewonnen werden. Da das Separationsprinzip für nichtlineare Systeme in der klassischen Form für lineare Systeme nicht zutrifft², reicht die global asymptotische Konvergenz des Beobachterfehlers gegen 0 im allgemeinen nicht aus, um die Stabilität des Gesamtsystems zu garantieren.

Um dennoch die Stabilität des Gesamtsystems gewährleisten zu können, können im wesentlichen zwei Maßnahmen getroffen werden:

Es wird ein herkömmlicher nichtlinearer Beobachter unabhängig vom Regler entworfen und die durch die Verwendung des Beobachters eingebrachten Schätzfehler werden als Unsicherheiten aufgefasst, denen durch die bereits erwähnte Methodik der *Nichtlinearen Dämpfung* begegnet wird.

Regler- und Beobachterentwurf erfolgen gemeinsam, wobei dem Beobachter geeignete Korrekturterme hinzugefügt werden, so dass das Gesamtsystem stabil wird. Die einzelnen Rekursionsschritte des Verfahrens erfolgen auf ein Zustandsystem, bei welchem die nicht messbaren Zustände durch Ihre Schätzwerte samt Schätzfehler ersetzt werden.

² In [Atas02] und [Atas99] ist ein Separationsprinzip für eine Klasse von nichtlinearen Systemen aufgezeigt, welches unabhängig von der verwendeten Zustandsrückführung unter sehr geringen Einschränkungen ist.

4.2 MIMO-Systeme

Die Darstellung des Backstepping-Verfahrens wurde im Rahmen dieser Einführung bewusst auf eine SISO-Strecke beschränkt. Die Verallgemeinerung auf MIMO-Systeme führt zu zusätzlichen Freiheitsgraden im Entwurf, die z.B. zur Erhöhung der Robustheit genützt werden können ([Krst95] S.294-301). Eine allgemeine Entwurfsvorschrift bzw. -systematik für MIMO-Systeme lässt sich schwer ausmachen.

Es gibt Systeme, welche Gl.(8) in vektorieller Form erfüllen, also

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\mathbf{p}_1 \\ \dot{\mathbf{p}}_1 &= \mathbf{a}_1(\mathbf{x}, \mathbf{p}_1) + \mathbf{b}_1(\mathbf{x}, \mathbf{p}_1)\mathbf{p}_2 \\ &\vdots \\ &\cdot\end{aligned}\tag{16}$$

Diese Form tritt häufig auf, wenn ein mechanisches System mit seinen elektrischen Aktuatoren betrachtet wird. Aber auch die Dynamik eines dynamisch positionierten Schiffes bei niedriger Geschwindigkeit lässt sich in Form Gl. (16) beschreiben, so gilt für die Dynamik

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{\eta}} &= \mathbf{J}(\boldsymbol{\eta})\mathbf{v} \\ \dot{\mathbf{v}} &= \mathbf{A}_1\boldsymbol{\eta} + \mathbf{A}_2\mathbf{v} + \mathbf{B}\boldsymbol{\tau},\end{aligned}\tag{17}$$

wobei $\boldsymbol{\eta} = [x, y, \psi]^T$ die Position und Orientierung in einer Ebene, $\mathbf{v} = [u, v, r]^T$ die entsprechenden Geschwindigkeiten, $\mathbf{J}(\boldsymbol{\eta})$ eine Rotationsmatrix und $\boldsymbol{\tau}$ die eingprägten Kräfte und Momente bezeichnen:

Auf Systeme der Form Gl. (16) kann das Vektorielle Backstepping angewandt werden, das eine natürliche Erweiterung des Integrator-Backsteppings für Vektorgrößen darstellt [Foss98].

4.3 Adaptives Backstepping

Die Erweiterung des Backstepping-Verfahrens für adaptive Systeme bereitet prinzipiell keine größeren Probleme. In jedem i -ten Entwurfsschritt wird ein virtuelles Regelgesetz α_i und ein Adaptionsgesetz für den unbekannt Parameter entworfen. Bei herkömmlichen Verfahren wird das Adaptionsgesetz tatsächlich umgesetzt, dabei tritt im nachfolgenden Entwurfsschritt ein Phänomen auf, das bereits aus Abschnitt 3.2 bekannt sein dürfte. Da die Ableitung des Regelgesetzes im Folgeschritt benötigt wird, die zeitliche Ableitung jedoch durch die Kettenregel der Differentiation immer „über das Zustandssystem“ führt, erscheint die Unsicherheit „von neuem“. Im Falle eines adaptiven Entwurfs bedeutet dies ein erneutes Schätzen des unbekannt Parameters. Bei Systemen von hoher Ordnung führt dies zu großer Überparametrisierung. (Der Regler enthält wesentlich mehr Parameterschätzer als das eigentliche System unbekannt Parameter.)

Abhilfe schafft hier der sogenannte „*tuning function*“-Ansatz. Hierbei ist auch das Adaptionsgesetz für den Parameterschätzer virtuell, was heißen soll, das es nur als Zwischenergebnis dient und vergleichbar dem virtuellen Regelgesetz nur im letzten Entwurfsschritt unmittelbar angewandt wird. Damit gibt es für jeden veränderlichen Parameter des Systems nur einen Parameterschätzer im Regler; dies verhindert zu hohe dynamische Ordnungen des Reglers.

5 Aufwand, Implementation und Vereinfachung

Der Aufwand zur Umsetzung eines Backstepping-Regelgesetzes ist sehr hoch. Auch wenn im Entwurf computeralgebraische Systeme zeitaufwendiges Ableiten und Einsetzen von Termen übernehmen, so müssen die komplexen Regelgesetze, die sich durch eine Summe von zahlreichen Produkten aus linearen und nichtlinearen Faktoren der Zustandsgrößen ergeben, implementiert werden.

Durch die dem Backsteppingverfahren inherente Systematik bietet sich die Entwicklung einer CAE-Umgebung an, die den Entwurf des Reglers unterstützt. Sie sollte jedoch unbedingt der Flexibilität des Verfahrens Rechnung tragen. Der erhöhte Implementationsaufwand des Backsteppingverfahrens lässt sich durch die Möglichkeit der automatischen Codegenerierung beherrschen.

Der Vergleich mit der Reglerlösung aus Abb.1, welche auf der Exakten Zustandslinearisierung beruht, mit einer robusten Backsteppinglösung fällt hinsichtlich des Aufwandes zur Implementation - teilweise in Abhängigkeit vom zu regelnden System unterschiedlich - eindeutig zu Ungunsten des rekursiven Backsteppingverfahrens aus. Der Entwurfsaufwand jedoch ist durchaus vergleichbar; so ist im allgemeinen das Finden eines geeigneten Diffeomorphismus und der Zustandsrückführung für die Exakte Linearisierung nur durch Computeralgebra möglich.

Das komplexe Backstepping-Regelgesetz kann vereinfacht werden. Zur Vereinfachung des Regelgesetzes gibt es unterschiedliche Möglichkeiten:

Die einfachste Möglichkeit besteht darin, die Ableitung $\dot{\alpha}$ des virtuellen Regelgesetzes näherungsweise explizit zu bilden, z.B. durch ein Filter der Form $\frac{s}{1+sT_1}$ aus α zu

berechnen. Die Zeitkonstante T_1 dieses Filters muss zum einen klein sein, da ansonsten zusätzliche Dynamik ins System eingebracht wird, deren Auswirkungen sich nur schwer abschätzen lassen, zum anderen aber auch aus Gründen der Rauschunterdrückung ausreichend groß.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, ein in den \mathbf{z} -Koordinaten des Backstepping-Reglers lineares Regelgesetz einzuführen, d.h. für das System nach Gl.(4) in Gl.(7) nur den ersten Term zu berücksichtigen

$$u = \alpha_{erw} = -c(\xi - \alpha(\mathbf{x})) = -cz, \quad c \in \mathfrak{R}, \quad c \gg 0, \quad (18)$$

wobei c eine sehr hohe Verstärkung darstellt. Damit ergibt sich für die Ableitung der Lyapunovfunktion für das Gesamtsystem

$$\dot{V}_{erw} = \dot{V}(\mathbf{x}) + z\dot{z} = \dot{V}(\mathbf{x}) - cz^2 - z\dot{\alpha}(\mathbf{x}). \quad (19)$$

Dies bedeutet, dass der Term $-cz^2$, der nicht positiv ist, den Ausdruck $-z\dot{\alpha}(\mathbf{x})$, der indefinit ist, in einem möglichst großen Bereich dominieren soll. Für große z ist bei ausreichend großem c dies in einem Einzugsbereich des Zustandsraumes erfüllt. Ist z klein, so folgt, dass der virtuelle Eingang ξ und das stabilisierende Regelgesetz $\alpha(\mathbf{x})$ für das vorhergehende Teilsystem sich nur gering unterscheiden. Es gibt also in diesem System bedingt durch die hohe Reglerverstärkung c eine schnelle Konvergenz des virtuellen Eingangs ξ gegen das stabilisierende Regelgesetz $\alpha(\mathbf{x})$ für das Teilsystem und eine langsamere Konvergenz des Zustandsvektors $[\mathbf{x}, \xi]$ des Gesamtsystems gegen den Ursprung (Siehe Abb. 4 rechts). Damit wird ein dem Backstepping-Regler ähnliches Verhalten des Gesamtsystems erreicht. (Man vergleiche Abb. 4 links mit Abb. 4 rechts).

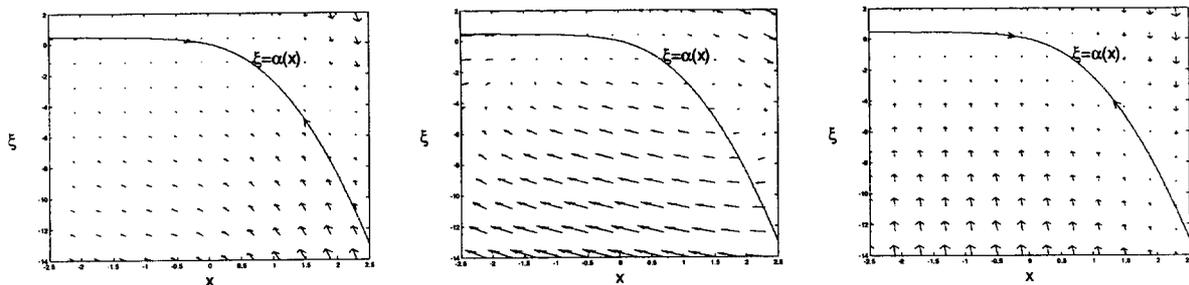


Abbildung 4: Vergleich des Backstepping-Verfahrens (*links*) mit einer Variante mit Vernachlässigung der Ableitung des virtuellen Regelgesetzes bei geringer Reglerverstärkung c (*mitte*) und hoher Reglerverstärkung c (*rechts*).

6 Zusammenfassung

Ausgehend von der Methodik der Exakten Linearisierung wurde die Backstepping-Methodik erklärt und deren Vorteile aufgezeigt. Zugleich wurde die Einschränkung auf bestimmte Systemklassen, die Robustheit des Ansatzes und die offene Frage der Einbringung von Optimalitätskriterien in den Entwurf angesprochen. Die Anwendung auf Regelungen unter Einschluss von Beobachtern (*observer backstepping*), auf Mehrgrößensysteme sowie adaptive Konzepte (*adaptive backstepping*) wurden besprochen. Abschließend wurde der doch beträchtliche Mehraufwand bzgl. der Implementation im Vergleich zur Exakten Zustandslinearisierung erwähnt und eine Möglichkeit der Vereinfachung des Regelgesetzes aufgezeigt.

Literaturverzeichnis

- [Atas02]: A. N. Atassi, H. K. Khalil, *A Separation Principle for the Control of a Class of Nonlinear Systems*, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 46, No. 5, pp. 742-746, May 2001.
- [Atas99]: A. N. Atassi, H. K. Khalil, *A Separation Principle for the Stabilization of a Class of Nonlinear Systems*, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 44, No. 9, pp. 1672-1687, September 1999.
- [Ezal00]: K. Ezal, Z. Pan, P. V. Kokotovic, *Locally Optimal and Robust Backstepping Design*, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 45, No. 2, pp. 260-271, February 2000.
- [Foss98]: Th. I. Fossen, A. Grovlen, *Nonlinear Output Feedback Control of Dynamically Positioned Ships Using Vectorial Observer Backstepping*, IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 6, No. 1, pp. 121-128, January 1998.
- [Hamk98]: C. H. Ham, J. Kaloust, R. Johnson, *Nonlinear robust controller for a class of nonlinear uncertain systems*, IEEE Proceedings Control Theory Applications, Vol. 145, No. 5, pp. 405-410, September 1998.
- [Jera01]: G. Jerabek, T. Nussbaumer, M. Glasl, A. Trenner, A. Weinmann, *Lie compensator design for exact linearization of inverter-fed induction machines*, Elektrotechnik und Informationstechnik (e&i) 118, S. 517-524, 2001.
- [Kane91]: I. Kanellakopoulos, P. V. Kokotovic, A. St. Morse, *Systematic Design of Adaptive Controllers for Feedback Linearizable Systems*, IEEE Transactions On Automatic Control, Vol. 36, No. 11, pp. 1241-1253, November 1991.
- [Kola01]: S. Kolavennu, Srinivas Palanki, Juan C. Cockburn, *Robust Controller Design for Multivariable Nonlinear Systems via Multi-Model H_2/H_∞ synthesis*, Chemical Engineering Science 56, Elsevier, pp. 4339-4349, 2001.
- [Krst95]: M. Krstic, I. Kanellakopoulos, P. Kokotovic, *Nonlinear and Adaptive Control Design*, Wiley Interscience, 1995.
- [Kugi95]: A. Kugi, *Nichtlineare Regelung elektrischer Systeme*, Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 1995.
- [Mari95]: R. Marino, P. Tomei, *Nonlinear Control Design, Geometric, Adaptive and Robust*, Prentice Hall, 1995.
- [Sepu97]: R. Sepulchre, M. Jankovic, P. Kokotovic, *Constructive Nonlinear Control*, Springer, 1997.
- [SeJa97]: R. Sepulchre, M. Jankovic, P. Kokotovic, *Interlaced Systems And Recursive Designs For Global Stabilization*, pp. 1-5, 1997.
- [Vieh03]: A. Viehweider, *Backstepping-Ein Rekursives Entwurfsverfahren für den Nichtlinearen Regelungsentwurf-, Teil 2: Ein Hybrider Robuster Ansatz zur Regelung von Manipulatoren*, zur Veröffentlichung bei IJAA eingereicht.
- [Zhao98]: J. Zhao, I. Kanellakopoulos, *Flexible Backstepping Design for Tracking and Disturbance Attenuation*, Int. J. Robust Nonlinear Control 8, 1998.

Anhang

A1 Globale Exakte Linearisierung

Das System nach Gl. (1) ist global exakt linearisierbar [Mari95] durch eine Rückkopplung der Form $u = k(\mathbf{x}) + \beta(\mathbf{x})v$ und einem globalen Diffeomorphismus $\mathbf{z} = T(\mathbf{x})$ in ein lineares System in Brunvosky Steuerbarkeitsform, genau dann, wenn:

1. $\text{span}\{\mathbf{g}, \dots, \text{ad}_f^{n-1}\mathbf{g}\} = \mathfrak{R}^n$,
2. Es existiert eine glatte Funktion $\varphi : \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}$, $\varphi(0) = 0$, so dass
 - a) $d\varphi$ ist nirgendwo 0 und $\langle d\varphi, \text{ad}_f^i \mathbf{g} \rangle = 0$, $0 \leq i \leq n-2$, $\langle d\varphi, \text{ad}_f^{n-1} \mathbf{g} \rangle \neq 0$,
 - b) Die Vektorfelder $\text{ad}_f^i \tilde{\mathbf{g}}$, $0 \leq i \leq n-1$, sind komplett mit

$$\tilde{\mathbf{f}} = \mathbf{f} - \frac{L_f^n \varphi}{L_g L_f^{n-1} \varphi} + \frac{1}{L_g L_g^{n-1} \varphi} \mathbf{g}, \quad \tilde{\mathbf{g}} = \frac{1}{L_g L_g^{n-1} \varphi} \mathbf{g}.$$

A2 Matching Uncertainties

Erfüllt ein System [Mari95] der Form

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{q}(\mathbf{x}, \theta(t)) + \mathbf{g}(\mathbf{x})u, \quad (\text{A2.1})$$

wobei die Unsicherheit folgende Bedingung erfüllt

$$\mathbf{q} \in \mathcal{D}_0, \text{ mit } \mathcal{D}_i = \text{span}\left\{\frac{\partial}{\partial z_n}, \dots, \frac{\partial}{\partial z_{n-i}}\right\}, \quad 1 \leq i \leq n-1, \quad (\text{A2.2})$$

und $\mathbf{z} = T(\mathbf{x})$ die Distribution eines Diffeomorphismus bezeichnet, durch welchen das Nominalsystem folgende Darstellung erhält

$$\begin{aligned} \dot{z}_j &= z_{j+1}, \quad 1 \leq j \leq n-1 \\ \dot{z}_n &= v, \end{aligned} \quad (\text{A2.3})$$

so lässt sich das System unter Einbeziehung der Unsicherheit folgendermaßen in z -Koordinaten darstellen:

$$\begin{aligned} \dot{z}_j &= z_{j+1}, \quad 1 \leq j \leq n-1 \\ \dot{z}_n &= v + \Delta(z_1, \dots, z_n, \theta(t)). \end{aligned} \quad (\text{A2.4})$$

Aus Gl. (A2.4) wird deutlich, dass der Systemeingang v wie die Unsicherheit den gleichen „Eingriffspunkt“ in das System haben.

Control System Design Subject to Multi-Objective Constraints

Alexander Weinmann, ÖVE, Senior Member IEEE
Vienna University of Technology, Institute of Automatic Control
Gusshausstrasse 27-29/375
A-1040 Vienna / Austria
Phone: +43 1 58801 37600, Fax: +43 1 58801 37699
email: weinmann@acin.tuwien.ac.at

January 21, 2003

Keywords: Multivariable control, complex constraints, Lagrange multiplier, multi-objective constraints, control system design

Abstract: The optimum control design with a complex index of performance and very complex conditions is addressed. The solution is provided by the intersection of constraint contours based on two Lagrange multipliers for equality-based constraints as the condition.

1 Introduction

Very often, design of control systems lacks of defining precise settings of numerical closed-loop properties. Significant examples are the methodologies of eigenvalue assignment or the LQ regulator design problem.

From the engineering viewpoint, predetermination of eigenvalues is an auxiliary setting, only, since very often high controller gain is entailed. A selection of only dominant eigenvalues might be sufficient to determine the dynamic behaviour.

Eigenvalue assignment has been intensively developed for given (closed-loop) eigenvalues but defining them is not a precise statement, although the method is oriented on qualified initial-signal decrease. In fact, balancing eigenvalue assignment versus actuator effect is a prime issue.

The weighting matrices \mathbf{Q} and \mathbf{R} for LQ control, both for the state variables and the actuating signals, have to be asserted tentatively, as a first step. This is an auxiliary setting and the method is not a one-shot one. The result in time or frequency domain is checked, iteratively, and the weighting matrices are re-asserted, as the following steps. It is left to the experience of the designer how straightforward the result is obtained even though stability is guaranteed.

2 Motivation

In practical applications, there are some indices of performance I which obviously should be minimized, e.g., the integral of error norm, singular value at pretermind frequency or H_∞ norm of the disturbance feedforward. Singular values are replaced by the Frobenius norm for the sake of easier differentiation. Summarizing $I \rightarrow \min_{\mathbf{K}}$ is the design target, obviously similar to the LQ regulator problem but only one of them.

Other examples for I are the disturbance feedforward $\|\mathbf{F}_{yw_d}\|$, or the difference $\mathbf{A}_{cl} - \mathbf{A}_{cl,ref}$ (between the actual closed-loop coefficient matrix and its corresponding reference) in norm sense occuring with matrix assignment methodology, or soft eigenvalue assignment $\lambda_{cl} \rightarrow \lambda_{ref}$, or holistic eigenvalue assignment $\sum_i \Re \lambda_i[\mathbf{A} + \mathbf{BK}] \rightarrow \min_{\mathbf{K}}$ (Weinmann, A., 2001).

On the other hand, there are quantities L_1 to be determined which are of stronger interest, since they should or must not increase beyond a predetermined value, they have strictly to be bounded, i.e. $L_1 \leq L_{10}$. Examples are (i) the entries of the controller \mathbf{K} or a summarizing quantity specified by the Frobenius norm $\|\mathbf{K}\|_F$. Alternatively, (ii) the effect of noise-driven actuator signals has to remain under a predefined level $\|\mathbf{F}_{un_r}(\mathbf{K})\|_F$, or (iii) the initial or maximum actuating signal $\max_t u(t, \mathbf{K})$ must be constrained.

Other examples for important targets of performance indices or equality-

based conditions, which are more important than weighting matrices in LQ control or eigenvalue assignment, are: Eigenvalue assignment only for the dominant eigenvalues; approximate eigenvalue assignment based on minimum distance to a predetermined set of eigenvalues s.t stability margins; distance to a stability constraint λ_o ; maximum amplitudes of some step and impulse response; maximum actuator stress; guaranteed noise suppression or disturbance rejection; non-violating stability margin for parameter uncertainties.

Finally, there is another class of properties which is out of discussion, e.g., the stability of the closed-loop system, i.e. $L_2 = \max_i \Re \{ \lambda_i[\mathbf{A} + \mathbf{BK}] \} < \lambda_0 \triangleq L_{20}$, in order to guarantee stability. An application of concern in robotics is the guaranteed space for collision-free operation resulting from vision-based position control.

All the quantities I and L_i are scalars in terms of \mathbf{K} .

3 Numerically-Based Optimization

It seems advisable to follow the resulting minimization using preferably two Lagrange multipliers μ_1 and μ_2

$$I(\mathbf{K}) + \mu_1 L_1(\mathbf{K}) + \mu_2 L_2(\mathbf{K}) \rightarrow \min_{\mathbf{K}} . \quad (1)$$

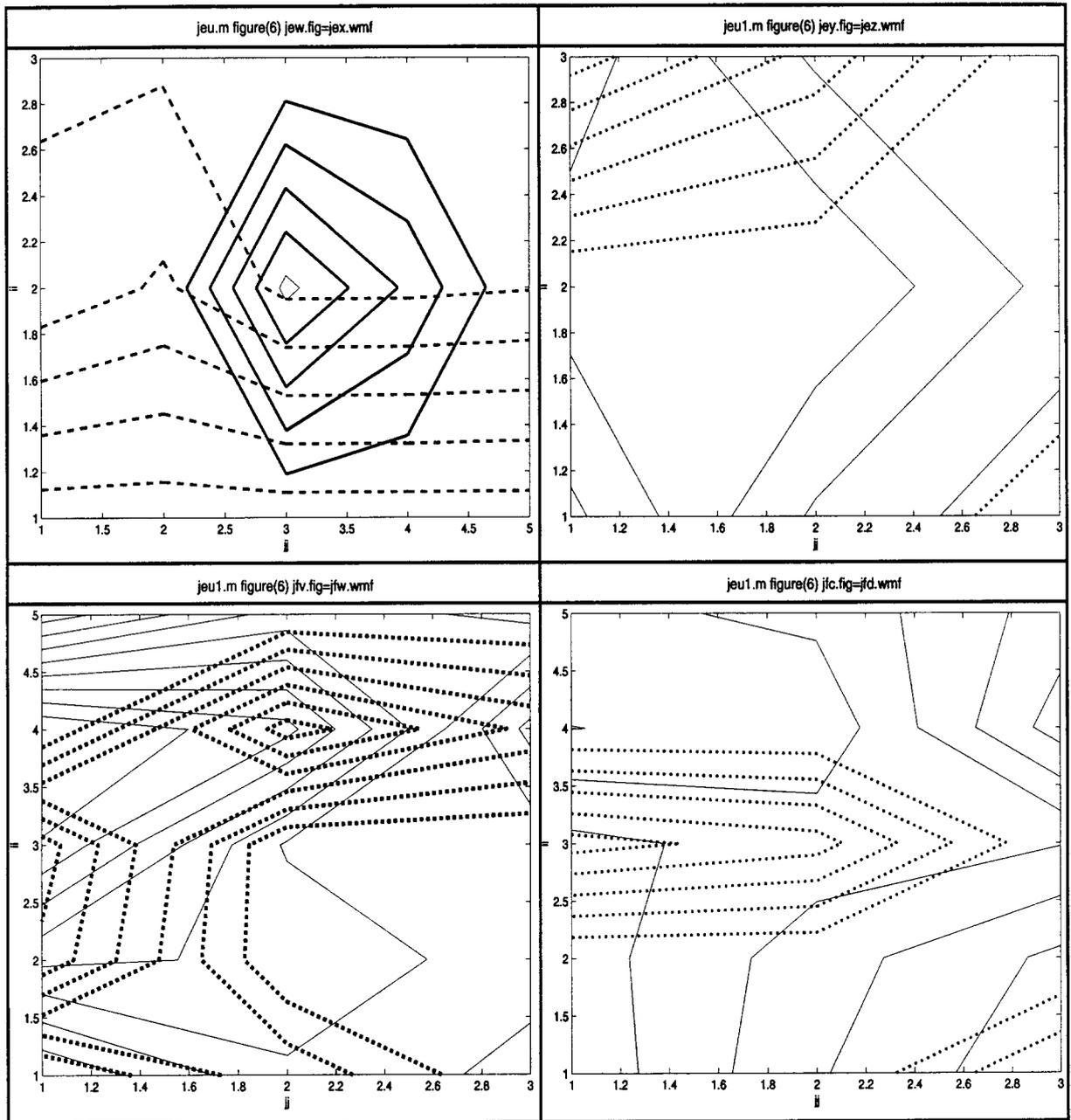
It must be emphasized that arbitrary preselections for the bounds L_{10} and L_{20} may cause conflicts. Hence, the process of minimization has to observe such difficulties.

The design target can be extended to uncertain parameters q_i characterized by some membership function of a fuzzy set, at the same time prosecuting a measure of occurrence. On top of this, the performance I should be averaged in the region of uncertainty.

Example. System of fourth order:

For a system of fourth order, minimize

$$\exp[(\max_i \Re \{ \lambda_i[\mathbf{A} + \mathbf{BK}] \} - \lambda_o)T_o] + \mu_1 \|\mathbf{K}\|_F + \mu_2 \max_t h(t, \mathbf{K}) \rightarrow \min_{\mathbf{K}} \quad (2)$$

Figure 1: L_1, L_2 contours in (jj, ii) diagrams

where $h(t, \mathbf{K})$ is the step response, λ_o is an upper limit for the dominant eigenvalues, T_o is a constant factor.

Occasionally, it is also advisable to include one of the conditions, e.g., $\|\mathbf{K}\|_F$ in the performance if the condition $\|\mathbf{K}\|_F$ is not predetermined until it is balanced in combination with L_2 .

In Fig. 1, four examples of contour lines for L_1 and L_2 are depicted where the coordinates are μ_1, μ_2 (corresponding to the indices jj, ii as the abscissa and ordinate, respectively). The solution results from the appropriate intersection points of the contour plots.

4 Conclusion

Control system design with state controllers has been investigated based on very a complex index of performance and (preferably two) complex constraints. The minimum is carried out numerically, only. Determining the Lagrange multipliers belonging to the given constraints is performed graphically and clearly arranged with the help of contour plots.

References

- Weinmann, A., 2001, Control system design based on holistic eigenvalue allocation, *e & i (Elektrotechnik und Informationstechnik)* **118**, S. 167-173
- Weinmann, A., 2001, Sensitivity of holistic controllers, *Int. J. Automation Austria* **9**, H.1/2, pp.13-26

Fernsteuerung und -wartung eines Digitalreglers über ein GSM-Handy

Alexander Stoll

Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, TU-Wien, Österreich

November 2002

Kurzfassung

Die Arbeit beschreibt die Realisierung eines Systems zur Strukturierung, Steuerung und Überwachung eines Digitalreglers über ein GSM-Handy. Der Regelalgorithmus und die Steuerungssoftware für das Handy laufen auf einem C167 Mikrocontroller. Für die Übertragung von Daten wurde das Short Message Service (SMS) des GSM-Netzes verwendet. Auf diese Weise kann der Regler mit jedem SMS-fähigen GSM-Handy konfiguriert und überwacht werden. Da die Analyse und Synthese von Reglerparametern meist mit Hilfe von Computern erfolgt, ist es günstig, wenn Parameter direkt vom Rechner aus übertragen werden können. Zu diesem Zweck wurden aktuelle Internettechnologien wie das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) und das Post Office Protocol 3 (POP3) in Verbindung mit vorhandenen SMS-Web-Gateways und SMS-EMail-Gateways genutzt, um eine Verbindung von einem PC mit Internetanbindung zum GSM-Netz und damit zum Mikrocontroller herstellen zu können. Der Regler selbst kann dann über Textdateien, welche eigens definierte Kommandos zur Reglersteuerung enthalten, konfiguriert werden. Auch die vom Regler gelieferten Daten werden in Dateien verwaltet und so einer computergestützten Analyse zugänglich gemacht.

1 Einleitung

Digitale Regler weisen im Vergleich zu analogen Reglern eine Reihe von Vorteilen auf. Neben der Möglichkeit der Implementierung moderner Regelverfahren, wie adaptive Regelungen oder Fuzzy-Regelungen, ist auch die Ein- und Ausgabe von Reglerparametern und anderer Daten leichter zu bewerkstelligen als bei analogen Reglern, da alle Daten bereits in digitaler Form vorliegen und daher leicht von Computern generiert bzw. weiterverarbeitet werden können.

Auch wenn mit klassischen Regelverfahren das Auslangen gefunden werden kann, weist der Digitalregler Vorteile auf, da verschiedene Reglertypen (P, PI, PID, etc.) ohne Änderungen der Hardwarekonfiguration des Reglers implementiert werden können. Die Realisierung der unterschiedlichen Reglertypen erfolgt durch softwaremäßige Konfiguration des Reglers. Die Synthese der Reglerparameter wird i.a. mit Hilfe eines Computers erfolgen.

Nach ihrer Berechnung müssen die Reglerparameter auf die Hardware des Digitalreglers

übertragen werden. Dies kann durch entsprechende Applikationen zur Programmierung der Zielhardware geschehen. Es ist jedoch oft wünschenswert, auch für mobile Systeme die Konfiguration des Reglers vom PC aus zu ermöglichen. Außerdem ist in vielen Fällen ein Ändern von Reglerparametern, Schwellenwerten, Sollwerten u.ä. oder ein Abfragen von Reglerdaten während des Betriebes des Reglers erwünscht.

Um die Kommunikation mit einem mobilen Regler zu gewährleisten, bietet sich das GSM-Netz als Medium zur Datenübertragung an. Wie im Laufe der Arbeit noch gezeigt wird, kann so über das *Short Message Service (SMS)* in Verbindung mit Internettechnologien wie dem *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)* und dem *Post Office Protocol 3 (POP3)* ein hohes Maß an Ortsunabhängigkeit des Reglers erreicht werden.

Der Einsatz der genannten Technologien hat den Vorteil, daß bestehende Infrastruktur verwendet werden kann. Dadurch können Kosten sowohl bei der Entwicklung als auch im Betrieb eines mobilen Systems eingespart werden.

2 Beschreibung des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem setzt sich aus einem mobilen Teil (Regler im weiteren Sinn) und Komponenten für die Bedienung und Konfiguration des Reglers am PC (Interface) zusammen (Abb. 1). Die Bedienung des Reglers muß nicht über einen PC erfolgen,

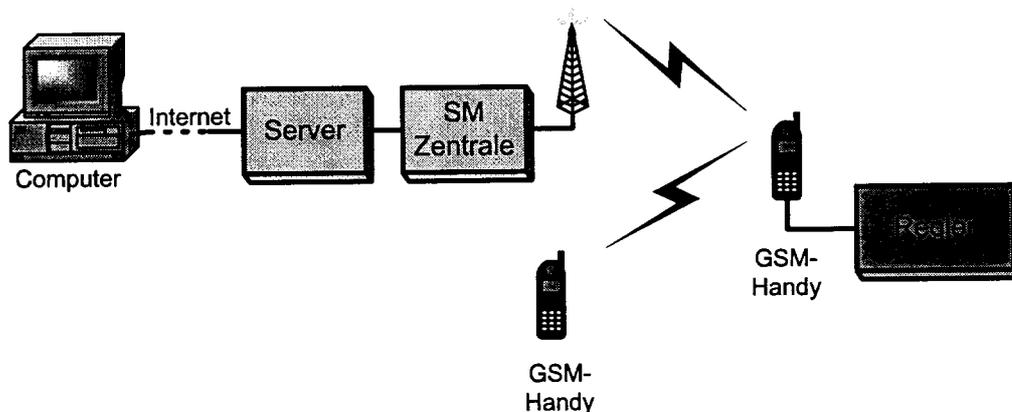


Abbildung 1: Gesamtsystem zur Konfiguration eines Reglers über SMS.

sondern kann auch, wie in Abb. 1 angedeutet, über ein zweites GSM-Handy erfolgen. Die Übertragung von Daten wird über das Short Message Service (SMS) des GSM-Netzes abgewickelt.

Der mobile Teil wurde mit einem KitCON-167 Evaluationboard der Fa. PHYTEC realisiert. Dieses beinhaltet neben einem C167-Mikrocontroller auch 256 kByte Flash-Memory, 64 kByte SRAM und eine serielle Schnittstelle. Für die Datenübertragung auf Reglerseite wurde ein „Sony CMD-CD5“-GSM-Handy verwendet. Dieses wurde über ein Datenkabel an die serielle Schnittstelle des KitCON-167-Boards angeschlossen. Damit ist es möglich, daß Handy über AT-Modembefehle zu steuern.

Für das Einlesen der Regelgröße und die Ausgabe der Stellgröße wird eine von *Andreas Kimmersdorfer* entwickelte Erweiterungsplatine für das KitCON-167 Evaluationboard verwendet. Diese Platine enthält einen A/D-Konverter (AD7874) mit 12 Bit Auflösung einem Eingangsspannungsbereich von $[-10V \dots +10V]$ und 29 kHz Abtastrate und einen D/A-Konverter (DAC8412) mit ebenfalls 4 Kanälen und 12 Bit Auflösung.

Als digitaler Regelalgorithmus, wurde eine Gleichung 4. Ordnung implementiert, wie sie in Gl. (1) angegeben ist.

$$u(k) = a_0e(k) + a_1e(k-1) + a_2e(k-2) + a_3e(k-3) + a_4e(k-4) - b_1u(k-1) - b_2u(k-2) - b_3u(k-3) - b_4u(k-4) \quad (1)$$

Die Koeffizienten a_0, a_1, a_2, a_3 und a_4 , sowie b_1, b_2, b_3 und b_4 des Reglers können entsprechend gewählt werden. Gleichungen niedrigerer Ordnung können durch Nullsetzen der höheren Koeffizienten realisiert werden. Wird auch noch ein Wert für die Abtastzeit vorgegeben, so sind alle wählbaren Parameter des Reglers festgelegt.

Betrachtet man das Gesamtsystem aus programmtechnischer Sicht, so besteht dieses im wesentlichen aus insgesamt vier Softwarekomponenten. Diese sind in Abb. 2 durch Rechtecke mit abgerundeten Ecken dargestellt. Zwei dieser Komponenten sind die Programme zur Ein- und Ausgabe von Reglerdaten am PC (*sendsms* und *getpara*). In Abb. 2 sind diese in der linken Hälfte zu sehen. Die anderen beiden Komponenten, welche am Mikrocontroller implementiert wurden, sind einerseits der digitale Regler selbst und andererseits die Steuerung für das GSM-Handy. In Abb. 2 sind diese in der rechten Hälfte zu sehen, wo auch die zentrale Parametertabelle, auf die beide Softwarekomponenten des Mikrocontrollers zugreifen, dargestellt ist.

3 Serieller Datentransfer

Wie schon erwähnt, wird der Datentransfer zwischen Mikrocontroller und Handy über ein serielles Datenkabel abgewickelt. Abb. 3 zeigt den Aufbau der Übertragungsstrecke vom GSM-Handy zum Mikrocontroller.

Die elektrischen Spannungspegel der Schnittstelle des Handys müssen zunächst an die Spannungswerte der seriellen Schnittstelle nach RS-232C angepaßt werden. Der dafür notwendige Transceiver ist bereits im Datenkabel für das Handy integriert. Für einen

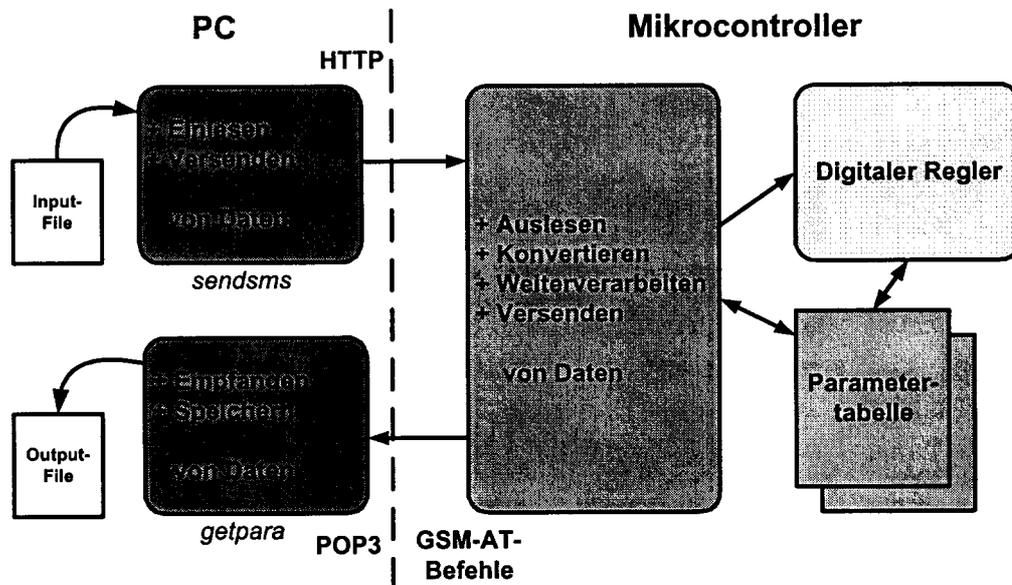


Abbildung 2: Die vier Softwarekomponenten des Gesamtsystems.

seriellen Datentransfer über die RS-232-Schnittstelle sind neben dem Bezugspotential (GND) zunächst nur die beiden Datenleitungen (RD, TD) notwendig. Allerdings muß der im Datenkabel integrierte Transceiver mit Spannung versorgt werden. Für diesen Zweck werden die Leitungen DTR und RTS verwendet. DTR muß daher immer auf positiven und RTS auf negativen Spannungspegel geschaltet sein. Auch am KitCON-167 Evaluationboard müssen die RS-232-Logikpegel in TTL-Pegel umgewandelt werden. Für diesen Zweck ist auf der Platine ein Transceiver vom Typ *MAX232* vorgesehen. Mit diesem Baustein können zwei Signalleitungen von RS-232- auf TTL-Pegel und zwei von TTL- auf RS232-Pegel konvertiert werden.

Für den effiziente Umgang mit seriellen Daten stellt der C167 eine Reihe von Interrupts zur Verfügung. Da die an der seriellen Schnittstelle auftretenden Daten in Echtzeit verarbeitet werden müssen, gleichzeitig aber auch der digitale Regelalgorithmus (ebenfalls in Echtzeit) abgearbeitet werden soll, ist es wichtig, schnelle *Interrupt Service Routinen (ISR)* für die Verarbeitung des seriellen Datenstroms zu realisieren. Deshalb werden die Daten in Zirkularpuffern zwischengespeichert. Auf diese gespeicherten Daten können dann andere, langsamere Funktionen zugreifen. In Abb. 4 ist das für die am Mikrocontroller auf Port P3.11 ankommenden Daten dargestellt. Für auszugebende Daten gelten analoge Überlegungen.

Durch Anpassung der Funktionen *putchar* und *_getkey* stehen Funktionen für die Ein- und Ausgabe von Strings über die serielle Schnittstelle zur Verfügung.

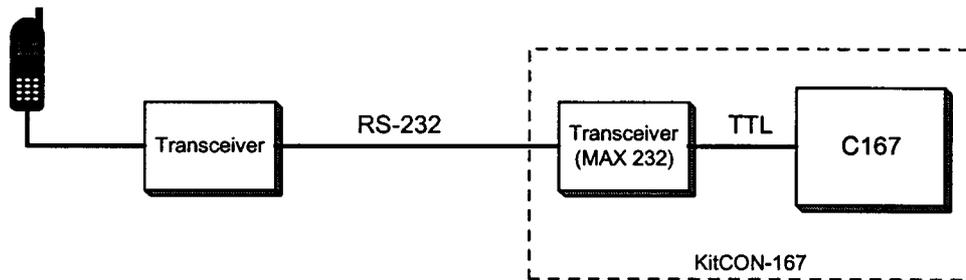


Abbildung 3: Serielle Übertragungsstrecke vom GSM-Handy zum Mikrocontroller.

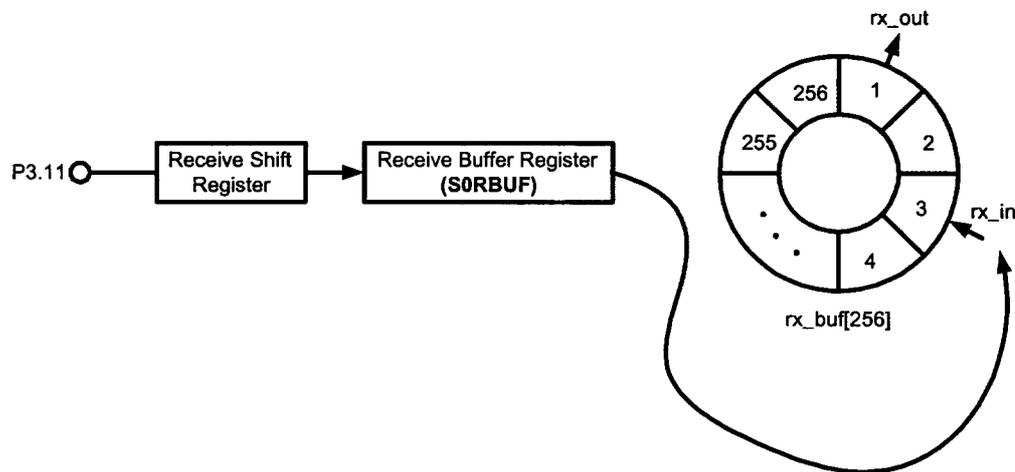


Abbildung 4: Die ankommenden Daten werden in einem 256 Byte großen Zirkularpuffer zur weiteren Verarbeitung gesammelt.

4 Short Message Service

GSM bietet neben der Möglichkeit Sprache zu übertragen, auch eine Reihe anderer Dienste an, welche den Datenaustausch zwischen den Benutzern ermöglichen. Einer dieser Dienste ist der *Kurznachrichtendienst* oder *Short Message Service (SMS)*, mit dem es möglich ist, kurze Textnachrichten an einer Mobilstation zu empfangen und zu versenden.

Obwohl es sich bei Kurznachrichten um Nutzdaten und nicht um Signalisierungsdaten handelt, werden diese in einem Signalisierungskanal des GSM-Netzes übertragen. Das ist möglich, weil die maximale Länge einer Kurznachricht mit 160 Zeichen beschränkt ist. Solche kleinen Datenmengen können dazu verwendet werden, um Löcher im Signali-

sierungskanal, d.h. Phasen in denen keine Signalisierungsdaten übertragen werden, aufzufüllen. Das hat den Vorteil, daß vorhandene Kapazitäten der Signalisierungskanäle besser ausgenutzt werden.

Für den Datenaustausch zwischen Mikrocontroller und Handy wurde der sog. PDU-Modus verwendet. Dabei werden alle für eine Short Message (SM) relevanten Daten in einen speziellen PDU-String verpackt. In Abb. 5 ist der Aufbau eines solchen PDU-Strings für zu versendende SMS (SMS-Submit) dargestellt. Neben anderen Datenblöcken sind hier auch die Felder für die Telefonnummer des Empfängers (DA=„Destination Address“) und die eigentliche Kurznachricht (UD=„User Data“) zu sehen.

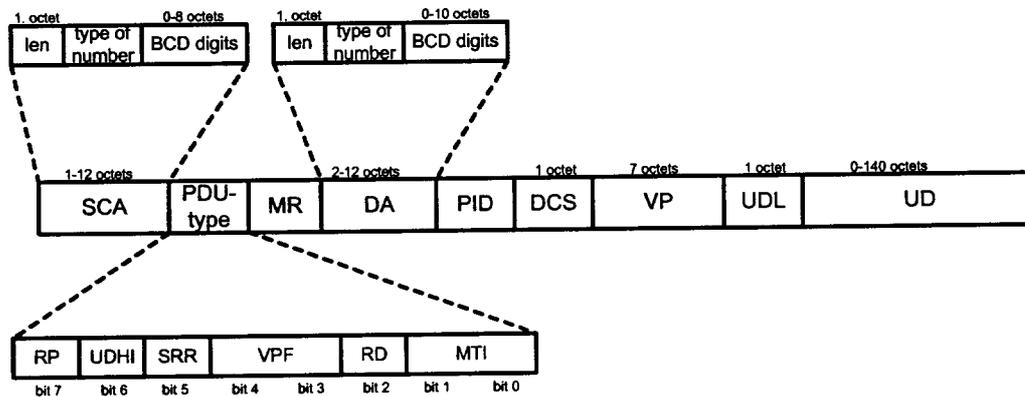
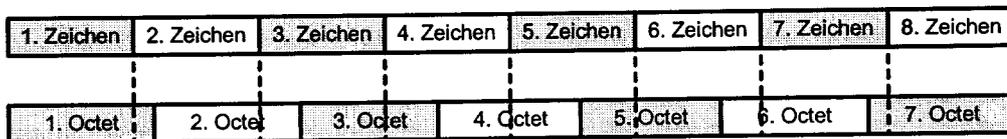


Abbildung 5: Aufbau des PDU-Strings für eine SMS-Submit PDU.

Um den sehr beschränkten Bereich der User Daten (UD) von 140 Bytes oder Octets optimal auszunutzen, wird standardmäßig für die Codierung der Benutzerdaten ein 7-Bit Codierungsschema verwendet, d.h. ein Zeichen benötigt sieben Bit. Da ein Octet jedoch aus acht Bit besteht, bleibt ein Bit pro Zeichen übrig, welches für die Codierung des nächsten Zeichens verwendet wird. Auf diese Weise können in sieben Octets acht Zeichen untergebracht werden. Dieses Zusammenpacken von Zeichen ist in Abb. 6 veranschaulicht.



1 Zeichen = 7 Bit, 1 Octet = 8 Bit → 8 Zeichen = 7 Octets

Abbildung 6: Im PDU-Format werden 8 Zeichen in 7 Bytes (Octets) gepackt.

Der einfache String „HALLO“ ergibt z.B. einen UD-String von C8 20 93 F9 04.

5 Verarbeitung von Short Messages im Mikrocontroller

Die Verarbeitung von SMS am GSM-Handy kann mittels AT-Befehlen erfolgen. Im weiteren soll der Ablauf für das Auslesen von Daten aus dem Handy beschrieben werden. Der AT-Befehl AT+CMGL=4 weist das Handy an, alle im SIM-Speicher abgelegten SMS auszugeben. Wenn der Befehl AT+CMGL=4 fehlerfrei ausgeführt wurde, könnten die gelieferten Daten etwa folgendermaßen aussehen:

```
at+cmgl=4
+CMGL: 1,1,,24
040C9134664467222900001090209145644805C82093F904
+CMGL: 2,1,,25
06020C91346644672229109020914500481090209145004800
+CMGL: 5,1,,155
040C913476968070900000108002014452 ...
```

Die Strings mit den hexadezimal dargestellten Zahlen sind die PDU-Strings der einzelnen Nachrichten. Aus diesen PDU-Strings muß zunächst die eigentliche Nachricht extrahiert und im Speicher abgelegt. Bevor nun auf den Inhalt der Nachricht eingegangen wird, muß noch berücksichtigt werden, daß Daten für den Regler auf bis zu drei SMS aufgeteilt werden können, falls diese nicht in eine einzige SM passen. Das hat zur Folge, daß neue Parameterwerte einer eintreffenden SM nicht sofort als Reglerparameter übernommen werden können. Zuerst muß überprüft werden, ob alle neuen Parameterwerte in einer einzigen SM enthalten sind, oder ob eine Aufteilung auf mehrere SMS erfolgt ist. Im Falle einer Aufteilung, muß auf die noch ausstehenden SMS gewartet werden, bevor die Reglerparameter aktualisiert werden können. Die Übergabe nur einzelner der zu aktualisierenden Parameter an den Regler ist in vielen Fällen nicht sinnvoll und muß daher vermieden werden.

Aus diesem Grund müssen alle zusammengehörigen SMS zuerst gesammelt werden. Diese Aufgabe übernehmen die in Abb. 7 dargestellten Zwischenspeicher. Erst wenn alle SMS eines Datensatzes angekommen sind, können die Daten in die Parameterliste des Reglers übernommen werden.

Um SMS einander zuordnen zu können, werden alle Datensätze mit einer Nummer versehen. Stimmt die Nummer zweier SMS überein, so gehören diese zusammen und müssen gemeinsam bearbeitet werden. Außerdem muß zu jeder SM angegeben werden, ob eine Aufteilung der Daten auf mehrere SMS vorliegt und um welchen Teil der Daten es sich handelt. In jeder SM müssen daher folgende Informationen enthalten sein:

- Nummer des Datensatzes
- Nummer der SM für den Datensatz

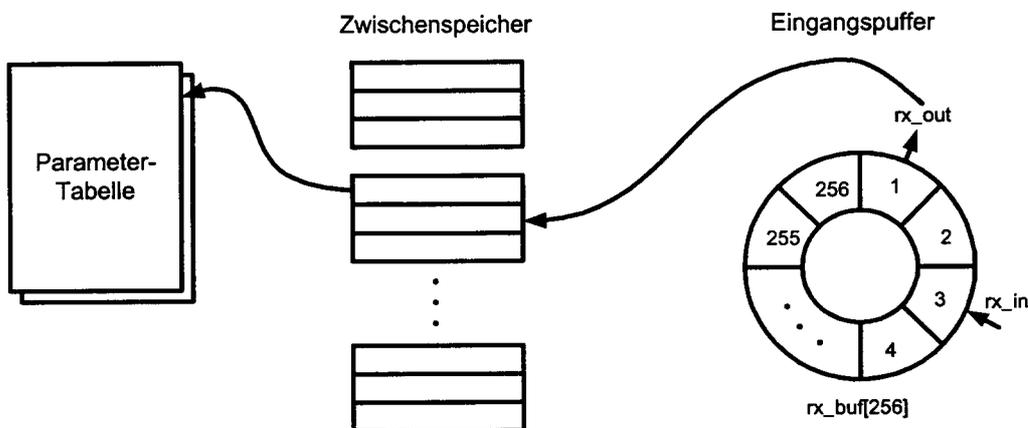


Abbildung 7: Die ankommenden SMs werden in Zwischenspeichern gesammelt und nach Datensatznummer geordnet. Erst wenn alle SMs eines Datensatzes vorhanden sind, wird die Parameterliste aktualisiert.

- Anzahl der SMs für den Datensatz (1, 2 oder 3)

Durch Angabe dieser Daten wird erreicht, daß jede SM eindeutig zugeordnet werden kann. Wenn z.B. eine SM fälschlicherweise zweimal abgeliefert wird, kann das erkannt und korrigiert werden.

Der Inhalt einer SM muß für eine korrekte Weiterverarbeitung folgendes Format haben:

$$\begin{array}{c}
 \$ < \underbrace{AABC}_{\text{Präfix}} \underbrace{[...]}_{\text{Kommandos}} > \$
 \end{array}$$

Er besteht aus einem *Präfix* und den Kommandos zur Reglersteuerung. Der gesamte Datensatz wird durch die Zeichenfolgen „\$ <“ und „> \$“ begrenzt. Der Aufbau des Präfixes ist in Tab. 1 angegeben.

Zeichen	Bedeutung
AA	Nummer des Datensatzes in dezimaler Form (01-99).
B	Nummer der SM für Aufteilung eines Datensatzes auf mehrere SMs (1-3).
C	Anzahl von SMs, auf die ein Datensatz aufgeteilt wurde (1-3).

Tabelle 1: Bedeutung der Zeichen des Präfixes einer SM.

Beispiel: Der Präfix „1923“ bedeutet daher, daß es sich um die zweite SM von dreien für den Datensatz 19 handelt.

Dem Präfix folgt ein String mit verschiedenen Kommandos für die Steuerung und Kontrolle des Reglers, welche im folgenden Abschnitt behandelt werden.

6 Befehle zur Reglersteuerung

Für die Steuerung des Reglers stehen Kommandos für folgende Aktionen zur Verfügung:

- Zuweisung von Parameterwerten.
- Abfrage von Parameterwerten.
- Starten des Reglers.
- Anhalten des Reglers.
- Reset des Reglers.
- Löschen der gespeicherten Werte der rekursiven Gleichung.

Da die Länge von SMs mit maximal 160 Zeichen beschränkt ist, muß mit den verfügbaren Zeichen sparsam umgegangen werden. Die verschiedenen Kommandos werden daher durch jeweils ein einziges Zeichen identifiziert.

Die Übergabe neuer Parameterwerte an den Regler wird durch das Kommando „S“ (SET) ermöglicht. Der Aufbau eines vollständigen Befehls sieht folgendermaßen aus:

$$SParametername=Wert; \dots; Parametername=Wert;$$

Parametername muß der Name eines vorhandenen Parameters des Reglers sein. *Wert* ist ein String, welcher den neuen Wert des gewählten Parameters darstellt. Durch einen Strichpunkt (;) werden die einzelnen Parameter voneinander getrennt.

Beispiel: Der Befehl SA0=1.2345;A1=4.5678 setzt den Parameter A0 auf den Wert 1,2345 und den Parameter A1 auf den Wert 4,5678.

Die Abfrage von Parameterwerten erfolgt mit dem Kommando „G“ (GET). Die allgemeine Form des Befehls sieht folgendermaßen aus:

$$GParametername; \dots; Parametername;$$

Der Regler gibt daraufhin die Werte der Parameter in der Form *Parametername=Wert* zurück.

Beispiel: Mit dem Befehl GA0;A1; werden die Parameter A0 und A1 abgefragt.

Mit den Kommandos „E“ (Enable) und „D“ (Disable) kann der Regler gestartet bzw. gestoppt werden. Bei diesen Befehlen können keine weiteren Parameter angegeben werden. Auch diese Befehle müssen mit einem Strichpunkt abgeschlossen werden.

Beispiel: Mit den Befehlen `D;SA0=1.2345;B1=3.4567;GYREF;E;` wird der Regler gestoppt, der Parameter A0 auf den Wert 1,2345 und B1 auf 3,4567 gesetzt. Der Parameter YREF wird abgefragt und der Regler gestartet.

Das Kommando „C“ (Clear) ermöglicht das Löschen der rekursiven Werte des Regelalgorithmus. Damit kann der Regler, speziell nach dem Einspielen neuer Reglerparameter, in einen definierten Ausgangszustand versetzt werden.

Mit dem Kommando „R“ (Reset) erfolgt ein Rücksetzen aller Parameter auf Standardwerte.

Bei der Übergabe der Parameter mittels einer Datei vom PC aus, werden die einzelnen Befehle nicht durch Strichpunkte, sondern durch `<CR><LF>` voneinander getrennt. Eine Datei für das soeben gezeigte Beispiel würde daher folgendes Aussehen haben:

```
D
S
A0=1.2345
B0=3.4567
G
YREF
E
```

7 Datenübertragung mit PC

Um die Steuerung und Überwachung des Reglers vom PC aus zu ermöglichen, können Web-SMS-Server und SMS-EMail-Gateways eingesetzt werden. Für die Übertragung von Daten vom PC zum Regler wurde das Programm *sendsms* entwickelt, welches mit Hilfe des *Hypertext Transfer Protocols (HTTP)* SMS über Web-SMS-Server an ein GSM-Handy verschicken kann. Der Aufruf von *sendsms* hat folgende Form:

```
sendsms [-a <number>] [-f <filename>]
```

Als Parameter können beim Aufruf die Telefonnummer des Empfängers und der Name einer Datei, welche Reglerparameter enthält, übergeben werden. Neben dem Einlesen und Übertragen der Parameter, muß *sendsms* auch dafür sorgen, daß die Daten auf mehrere SMS aufgeteilt werden, falls diese nicht in eine einzige SM passen.

Vom Regler gelieferte Daten werden über ein SMS-EMail-Gateway an einen POP3-EMail-Account weitergeleitet und können von dort mit dem Programm *getpara* abgefragt werden. Der Aufruf von *getpara* sieht folgendermaßen aus:

```
getpara [-s <server>] [-a <account>] [-p <password>] [-f <file>] [-d]
```

getpara liest bei jedem Aufruf die vorhandenen E-Mails und schreibt einen vollständigen Datensatz in die angegebene Datei. Existiert die Datei bereits, so werden die Daten am Ende angefügt. Die Option *-d* beim Programmaufruf bewirkt, daß die verarbeiteten E-Mails vom Server gelöscht werden. Nach der Ausführung von *getpara* stehen die eingetroffenen Daten in einer Datei zur weiteren Verarbeitung bereit.

8 Reales Beispiel

Zur Veranschaulichung soll zum Abschluß noch der Konfigurationsstring für einen PI-Regler mit einer Abtastzeit von $T = 10$ ms gebracht werden. Mit einer Übertragungsfunktion im z -Bereich von

$$K(z) = \frac{5.922z - 5.908}{z - 1} \quad (2)$$

führt einfaches Umformen und die Anwendung des Verschiebungssatzes der z -Transformation zur gesuchten Differenzgleichung

$$u(k) = 5.922 \cdot e(k) - 5.908 \cdot e(k - 1) + u(k - 1). \quad (3)$$

Für die Koeffizienten aus Gl. (1) ergeben sich damit die Werte $a_0 = 5.922$, $a_1 = -5.908$ und $b_1 = -1$. Die übrigen Koeffizienten werden gleich Null gesetzt. Mit einem Sollwert von 5 V, und einer Stellgrößenbegrenzung von ± 5 V ergibt sich damit folgender Konfigurationsstring:

```
<0111D;SA0=5.922;A1=-5.908;B1=-1;YREF=5;UMIN=-5;UMAX=5;TA=0.01;E;>
```

Dieser String muß per SMS an den Regler gesendet werden, um die entsprechenden Parameter einzustellen.

9 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein System beschrieben, welches die Konfiguration und Überwachung eines digitalen Reglers mit Hilfe des Short Message Service beschreibt. Der Regler selbst wurde auf einem C167 Mikrocontroller implementiert. Befehle für die Steuerung des Reglers und der Aufbau von Konfigurationsstrings werden definiert. Um größere Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit zu erreichen, aber auch um Kosten während der Entwicklung und des Betriebes einzusparen, wurde eine Bedienungsmöglichkeit des Systems mittels PC über das Internet realisiert.

Literatur

European Telecommunications Standards Institute: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Technical realization of the Short Message Service (SMS); Point-to-Point (PP); (GSM 03.40), European Telecommunications Standards Institute (www.etsi.org), 1996

European Telecommunications Standards Institute: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Use of Data Terminal Equipment - Data Circuit terminating; Equipment (DTE - DCE) interface for Short Message Service (SMS) and Cell Broadcast Service (CBS) (GSM 07.05 version 5.5.0), European Telecommunications Standards Institute (www.etsi.org), 1998

European Telecommunications Standards Institute: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); AT command set for GSM Mobile Equipment (ME) (3GPP TS 07.07 version 7.7.0 Release 1998), European Telecommunications Standards Institute (www.etsi.org), 1998

Andreas J. Kimmersdorfer: Digitaler Regler mit dem SIEMENS Mikrocontroller C167CR-LM, Diplomarbeit TU-Wien, 2001

Dipl.-Ing. Alexander Stoll
Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik
Technische Universität Wien
Gufshausstraße 27-29
A-1040 Wien
a.stoll@gmx.at

Internationales Symposium on Robotics – ISR

7. – 11. Oktober 2002
Stockholm, Schweden

Dieses Symposium fand gemeinsam mit der skandinavischen technischen Messe statt. Als Veranstalter trat die International Federation of Robotics – IFR und die Swedish Industrial Robotics Association – SWIRA auf.

Die Robotertechnologie hat sich in den letzten Jahren dramatisch geändert. Roboter sind nun auf dem Weg von relativ einfachen Maschinen für einfache Aufgaben zu komplexen hochgenauen Hochgeschwindigkeitsmaschinen. Daher enthielt das Programm der 33. ISR im Gegensatz zu früheren Konferenzen Beiträge über Serviceroboter, über Management und Marketing. Es wurde damit versucht auch die wirtschaftlichen und sozialen Aspekte der Robotertechnik zu beleuchten.

Das Programm enthielt 130 Vorträge, welche in 17 technischen Sektionen angeordnet waren. Die Autoren kamen aus 25 Nationen. Darüber hinaus wurden 4 Übersichtsvorträge gehalten. Rodney Brooks vom Artificial Intelligence Lab. des MIT gab einen sehr futuristischen Ausblick über zukünftige Roboter und Roboteranwendungen. Gerd Hirtzinger von der DZFLR in Deutschland berichtete über die Zusammenhänge von Robotertechnik und Mechatronik. Mehr industrielle Aspekte beleuchteten die restlichen zwei Übersichtsvorträge von Bernard Louvat Evolution Robotics und Friedrich Durand von der Swatch Group, welche über moderne mobile Roboter bzw. über Montageautomatisierung für Produkte in großer Stückzahl referierten.

Zwei spezielle Sessions waren der modernen Produktion unter dem Einfluß der Informationstechnologien sowie der Marktentwicklung für Automatisierungstechnik in den baltischen Staaten gewidmet. Fachexkursionen, beispielsweise zu Volvo, ABB, Skania, Nokia und Motomann sowie ein reichhaltiges Social Program ergänzten das Programm der äußerst gelungenen von ungefähr 300 Besuchern frequentierten Veranstaltung.

P. Kopacek

17. Österreichischer Automatisierungstag

11. Oktober 2002

Linz

Der österreichische Automatisierungstag fand heuer zum siebzehnten Mal statt. Nachdem sich die vor 2 Jahren begonnene Zusammenarbeit mit der „SMART AUTOMATION AUSTRIA“ im Design Center Linz bewährt hatte, wurde er am 11. Oktober 2002, von 10 – 14 Uhr abgehalten. Zweck dieses Automatisierungstages war es wieder der österreichischen Industrie, forschungsfördernden Stellen sowie Vertretern von Technologietransferzentren einen ersten Überblick über aktuelle und zukünftige Forschungsschwerpunkte und Forschungsarbeiten auf dem gesamten Gebiet der Automatisierungstechnik zu geben.

Infolge des rasanten Eindringens der Informationstechnologien in die Automatisierungstechnik und auch in unser tägliches Leben stand er diesmal unter dem Generalthema „Automatisierungs- und Informationstechnik“. Als Veranstalter traten diesmal der IFAC Beirat Österreich, die Österreichische Gesellschaft für Automatisierungs- und Robotertechnik – ÖGART, das Institut für Handhabungsgeräte und Robotertechnik der Technischen Universität Wien – IHRT, die Österreichischer Computer Gesellschaft – OCG, die Österreichische Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik – ÖGMA, die Österreichische Gesellschaft für Technologiepolitik – ÖGTP und die Österreichische Gesellschaft für System- und Automatisierungstechnik – SAT auf.

In seinem Einleitungsreferat gab Prof. Dr. D. Dietrich vom Institut für Computertechnik der TU Wien einen Einblick in vernetzte, fehlertolerante Systeme auch als X-by-wire bezeichnet. Automatisierungstechnik erfordert Sensorik, welche selbst in den Geräten unseres täglichen Lebens immer mehr werden. So sind z.B. in einem modernen PKW ungefähr 500 Sensoren enthalten, welche durch Bussysteme miteinander vernetzt sind. Prof. Dr. G. Schlacher von der Johannes Kepler Universität Linz stellte sein Referat unter den Titel: „Mechatronik, Fluidtronik, Thermotronik und Chemotronik“. Er zeigte an Hand von Beispielen aus dem Maschinenbau und der Elektrotechnik welche Bedeutung diese Schlagwörter in Zukunft auf die Automatisierungstechnik gewinnen werden. Verbundwerkstoffe mit integrierter Aktorik und Sensorik, welche die Ausnutzung von Eigenschaften von neuen Materialien erlauben, werden häufig als Adaptronik bezeichnet. Prof. Dr. A. Kugi von der Universität des Saarlandes zeigte wie man diese Änderungen im μ -Bereich teilweise durch mechanische Übersetzungen in der Stelltechnik einsetzen kann. Infotainment oder spielen mit Automatisierung behandelte Prof. Dr. P. Kopacek von der TU Wien in seinem Referat. Er konzentrierte sich dabei auf das Gebiet der Robotik, wo sich Robotern für Wettbewerbe bzw. menschlichen Robotern zukünftig ein großer Markt eröffnen wird.

Der Fred Margulies-Preis – verliehen von Frau Bundesminister a.D. E. Hostasch – wurde diesmal zu gleichen Teilen an Dr. Franz Pernkopf von der Universität Leoben für seine Dissertation „Automatic Visual Inspection of Metallic Surfaces“ und Dipl.-Ing. Philipp Urch von der TU Wien für seine Arbeit „Control of a Semi-automated Disassembling Cell“ verliehen. Beide behandelten u.a. auch die soziale Komponente, wie beispielsweise die Schnittstelle Mensch-Maschine wie in Vertretung von Präsident Dr. N. Rozsenich Dr. R. Fries vom BMVIT in seinen Laudatii ausführte.

Der Besuch war etwas schwächer wie beim 15. Automatisierungstag im Design Center Linz. Es konnten aber mehr als 50 Besucher begrüßt werden. Der 18. Österreichische Automatisierungstag wird am 2. Oktober 2003 im Messe Congress Center der Reed Messe im Rahmen der „viet“, der FIRA Roboterfußballweltmeisterschaft und des FIRA Weltkongresses stattfinden.

P. Kopacek

1. Türkisch – österreichischer Automatisierungstag

25. Oktober 2002

Bogazici Universität, Istanbul

Der 1. türkisch-österreichische Automatisierungstag fand am 25. Oktober 2002 in den Räumen der Bosphorus Universität in Istanbul statt. Die Organisation lag von österreichischer Seite beim Institut für Handhabungsgeräte und Robotertechnik (IHRT) der Technischen Universität Wien in Zusammenarbeit mit der ÖGMA, dem IFAC Beirat Österreich sowie der ÖGART. Von türkischer Seite zeichnete das türkische Nationalkomitee für Automatisierungstechnik sowie die Bosphorus, Dogus und Yildiz Universität für die Organisation verantwortlich. Unterstützt wurde die Veranstaltung durch die Industriekammer von Istanbul, das EU Projekt MathIND sowie der türkischen Fachzeitschrift „Industrie und Automatisierung“.

Zweck dieses bilateralen Automatisierungstages war es wieder den Teilnehmern im Gastgeberland österreichische Leistungen auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik näher zu bringen. In Übersichtsreferaten wurden von österreichischer Seite der Stand der Automatisierungs- und Messtechnik sowie Automatisierung und Energie behandelt. Im Beitrag Automatisierungstechnik in Österreich skizzierte P. Kopacek den Stand und die Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Prozess- und der Fertigungsautomatisierung. Auf dem Gebiet der Prozessautomatisierung ging er besonders auf adaptive Regelungen, nichtlineare zeitvariante Systeme sowie auf fortgeschrittene Regelalgorithmen, insbesondere Fuzzy-, Neuro- und Neurofuzzy Methoden ein. Auf dem Gebiet der Fertigungsautomatisierung wurden als Anwendungsbeispiele ein modulares „Low-cost“ CIM-Konzept, die Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Automatisierung einer Rohrwalzstraße sowie als Beispiel für Roboteranwendungen in der Unterhaltungsindustrie Roboterfußball präsentiert. H.-B. Matthias von der Technischen Universität Wien widmete seinen Vortrag zur Energieerzeugung in Wasserkraftanlagen, wobei er insbesondere auf die Automatisierung von Versuchsständen zur Erzielung besserer Wirkungsgrade sowie auf ein Softwarepackage zur Revitalisierung von Wasserkraftwerken einging. Diese beiden Fachgebiete liefern einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur sicheren, sauberen und effizienten Energieerzeugung. P.H. Osanna, ebenfalls von der TU Wien, unterstrich die Wichtigkeit der Messtechnik, insbesondere den Einfluss der Produktionsmesstechnik auf Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement.

Von türkischer Seite gab Prof. T. Kutman einen historischen Rückblick auf die Automatisierungstechnik in der Türkei seit 1930. Bis 1970 wurden alle Automatisierungskomponenten und -lösungen von der Türkei aus dem Ausland importiert. In den 80er Jahren begann sich eine lokale Automatisierungsindustrie zu entwickeln. Es wurden auch eigene Automatisierungslösungen mit Hilfe ausländischer Partnerfirmen sowie türkischer Universitäten realisiert. Prof. E. Tolunay von der Middle East Universität gab einen Überblick über die Anwendung neuronaler Netze und Fuzzy-Methoden zur Automatisierung von Industrieprozessen. Wie bekannt eignen sich beide Methoden für hoch-nichtlineare und zeitvariante Prozesse. Neuronale Netze werden trainiert um unbekannte Systemparameter zu bestimmen und Steuergrößen für nichtlineare Systeme zu generieren. Als Anwendungsbeispiele erläuterte er eingehend die Temperaturregelung einer Fließbett-Brennkammer und die Regelung eines Zuckererzeugungsprozesses mit neuronalen Netzen. Prof. I. Bozma von der Bosphorus Universität skizzierte derzeitige und zukünftige Anwendungen von Künstlicher Intelligenz in der Industrie. Diese Systeme sind sowohl autonom als auch flexibel. Als Beispiel verwendete sie mobile, intelligente, kooperative Roboter der nächsten Robotergeneration.

Traditionellerweise war der Nachmittag Firmenvorträgen gewidmet. Diese deckten eine breite Palette von pneumatischen und hydraulischen Automatisierungskomponenten über vernetzte Systeme für Ventilinseln, hierarchisch strukturierte Prozessleitsysteme bis hin zu semiautomatisiertem Elektronikschrottreycling und Qualitätsmanagement-Ausbildung in der EU ab.

Aufgrund der Qualität der Vorträge sowie der relativ hohen Teilnehmerzahl von fast 100 wurde der Wunsch geäußert in 1 oder 2 Jahren den 2. österreichisch-türkischen Automatisierungstag möglicherweise in Bursa zu organisieren. Die Abstracts der Vorträge wurden in einem Tagungsband zusammengefasst.

P. Kopacek

Bericht vom 15. IFAC World Congress

Barcelona, Spanien
21. – 28. Juli 2002

D. Bauer, R. Genser, A. Gotwald, M.-W. Han, R. Neck und Th. Ribarits,

Wie bereits in Heft 2/2002 ausgeführt, entwickelt sich dieser alle drei Jahre stattfindende Weltkongress immer mehr zu einem Monsterereignis. Nachfolgend sind einige Eindrücke der österreichischen Teilnehmer festgehalten.

Aufgrund der ausgewählten Papers setzte sich das endgültige Programm aus neun Schwerpunktthemen mit 239 Oral Sessions zusammen:

- Manufacturing and Instrumentation (31 Sessions)
- Design Methods (70 Sessions)
- Systems and Analysis (46 Sessions)
- Life Support Systems (7 Sessions)
- Systems Engineering and Management (10 Sessions)
- Global and Educational Issues of Automation (5 Sessions)
- Industrial Applications (42 Sessions)
- Transportation and Vehicles (21 Sessions)
- Computer Control (7 Sessions)

Parallel dazu fanden noch 12 Poster Sessions aus den bereits genannten Bereichen statt. Vor dem eigentlichen Kongress wurden am 20. und 21. Juli noch 16 Tutorial Workshops – überwiegend zum Themenbereich Control – angeboten.

An jedem Tag wurde eine Plenary Lecture präsentiert. So brachte Prof. Luenberger eine Einführung in das CAPM Modell und Erweiterungen, also Anwendungen aus dem Gebiet der Finanzmathematik. Prof. Futura sprach über „uper mechano systems“, Prof. Goodwin über “invers problems with constraints”. Die Plenary Lecture von Prof. Kopetz, Technische Universität Wien, befasste sich mit dem Thema „Time triggered (TT) real time computing“. Er zeigte auf, dass TT Computer Systeme für sicherheitskritische Real-Time Anwendungen (in der Luftfahrt bzw. auch bei Automobilen) akzeptiert werden und weltweit auf dem Weg zum Durchbruch sind. Prof. Dormido erörterte innovative Möglichkeiten für die Ausbildung von Kontrollingenieuren (remote and virtual laboratories im Internet). Der Vortrag von Prof. Blasi behandelte einen sehr interessanten Industriebeitrag zur Umsetzung von „automatic control“ im Produktionsprozess aus der Sicht des Managements (conditions for successful automation in industrial applications) und Judith Orasanu hielt schließlich eine Plenary Lecture über „Risk perception: a critical element of aviation safety“.

In 18 Podiumsdiskussionen wurden die zukünftigen Entwicklungen und Anwendungen im Bereich der Regelungstechnik diskutiert. Bei diesen Diskussionen erhielt man einen Überblick und erfuhr anschließend auch einige Details der jeweiligen Problematik.

In der Podiumsdiskussion „Playing with Automation: Toy and/or Science“ (Organisator : Prof. P. Kopacek) wurde die zukünftige Rolle und Entwicklung der Regelungstechnik im Bereich Freizeit und Vergnügungsindustrie behandelt. Während der Diskussion wurde betont, dass hinter „Roboterfußball“ sehr viele wissenschaftliche Arbeiten, wie intelligente Regelung, Bildverarbeitung, Kommunikation, Programmieren, Mechatronik, usw. stehen. Abschließend wurde betont, dass in Zukunft mehr Forschungsarbeiten in den Bereichen von Interaktion zwischen Mensch und Roboter, Sensorik und intelligente Robotersteuerung mit Sensorintegrationen gemacht werden sollten. Als Spielzeugroboter sollte der Roboter mehr Interaktionen haben und leicht bedienbar sein, ansonsten wird der Roboter für die Kinder bald langweilig.

Bei den Beiträgen zu den Themen Neuronale Netze, Fuzzysteuerung und mobile Robotersteuerung gab es wenig neue Theorien, sondern mehr Integrationen von neuronalen Netzen mit Fuzzysystemen und deren Anwendungen von bereits bekannten Theorien. Es wurden auch einige Anwendungen von Neuro-Fuzzy im Bereich Fehlererkennung und Regelung präsentiert.

Für die zukünftigen Entwicklungen in der Regelungstechnik, besonders in der rechnergestützten Regelungstechnik - „Computer Control“ - sind Schlagwörter im Aufwind, wie Künstliche Intelligenz in der Regelung von Echtzeitsystem, verteilte Regelungstechnik, Echtzeitsoftwaretechnik, Sicherheit der rechnergestützten Regelungstechnik, z.B. im Flugverkehr. Auch neue Entwicklungen in der Informationstechnologie, besonders Rechnernetzwerke und Kommunikation werden weitere Möglichkeiten zur Erweiterung von Regelungstechnik bieten. Der Trend in der Regelungstechnik geht in Richtung mehr Integration mit Informationstechnologie.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass weniger wirklich neue Theorien präsentiert wurden, sondern mehr Anwendungen von bekannten Theorien.

Auch die Podiumsdiskussion über "Future Directions of Automatic Control", in der Wissenschaftler verschiedener Theorie- und Anwendungsgebiete ihre Einschätzung der zukünftigen Trends auf den von der IFAC behandelten Gebieten vortrugen und zur Diskussion stellten, war auch für einige österreichische Teilnehmer sehr informativ und nützlich.

Einige der zum ersten mal eingeführten "Milestone Reports", wie z.B. die Milestone Session "Manufacturing and Instrumentation" waren sehr beeindruckend. Dabei kam das IFAC Committee zum Schluss, dass Mechatronik und Mikrotechnologien in naher Zukunft stark eingesetzt werden, um „technische Intelligenz“ im Fertigungsbereich erreichen zu können.

„Social Impact of Automation“ – ein weiterer Milestone Report – ging von den drei gebräuchlichen Ansätzen: Technikorientiert, Humanorientiert und Socio-Technologie orientiert aus. Daraus wurden zukünftige Trends der Automation analysiert. Man kam zu dem Ergebnis, dass insbesondere die komplexe Büro- und Home-Automation gravierende Einflüsse auf das individuelle Leben der Menschen haben werden. Es ist darum notwendig neue Methoden zur Absicherung komplexer Automatisierungssysteme zu entwickeln, die auch von technisch wenig vorgebildeten Usern akzeptiert werden.

In der Session „Decision support & process supervision“ befassten sich die 6 präsentierten Papers mit mathematischen Methoden bzw. deren Umsetzung in Softwaremodelle (inklusive grafischer Visualisierung) ganzer Prozesse bzw. Steuerung einzelner Controller.

„Mobile robot guidance, navigation and control“ war überwiegend der mathematischen Optimierung von Steuerungsmodellen bzw. Vergleichen der theoretischen Ergebnisse mit realen Bewegungen gewidmet.

In der Session „Virtual reality and human intelligence“ wurden auch überwiegend mathematische Konzepte sowie statistische Modelle (inklusive spezieller Datenbasen) präsentiert, um menschliches Verhalten und deren Erfahrung zu simulieren.

Auch bei der Session „Low cost oriented industrial automation“ handelten 4 Papers von Simulation bzw. Modellierung für Roboter oder Fahrzeug-Steuerungen, während die beiden anderen Papers sich mit der Optimierung der Werkstattorganisation (TU Berlin) bzw. der Nutzung von Standard Netzwerkprotokollen (TCP/IP) für die Fernüberwachung von biologisch/chemischen Prozessen beschäftigten.

Eine wesentliche Neuerung auf dem Gebiet der Systemidentifikation ist die Anwendung von Methoden aus anderen Forschungsgebieten auf die Probleme der Systemidentifikation. So werden EM Algorithmen, welche in der Statistik seit langem bekannt sind auf die Zeitreihenanalyse angewandt. Hier gibt es Verbindungen zu den sogenannten Subspace Algorithmen, welche auch an der TU Wien eingehend studiert werden. Der EM Algorithmus wurde zur Schätzung von linearen und bilinearen dynamischen Systemen angewandt. Weiters ist das Konzept der „Reproducing Kernel Hilbert Spaces (RKHS)“ zu nennen. Dies Konzept wurde bei der Schätzung von Volterra Kernel Modellen verwendet. Hier ist das größte Problem die exponentiell mit der Anzahl der Inputs wachsende Anzahl von zu schätzenden Parametern. Dieses Problem kann durch Benützung von RKHS Methoden gemildert werden. Das Konzept wurde weiteres verwendet, um neue Approximationen der asymptotischen Varianz der Schätzer von linearen dynamischen Modellen zu finden. Diese neuen Approximationen stehen zum Teil im Widerspruch zu den alten Ausdrücken, welche jahrzehntelang als Grundlage für das Design von Experimenten verwendet wurden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass man auch bei diesem IFAC World Kongress - trotz seiner Größe - nicht nur von den wissenschaftlichen Vorträgen profitieren konnte, sondern darüber hinaus mit Kollegen aus der ganzen Welt auch Probleme diskutieren und neue Kontakte knüpfen konnte.

Multi-Robot Systems:
From Swarms to Intelligent Automata
Proceedings from the 2002 NRL Workshop on Multi-Robot Systems

A. C. Schultz and L. E. Parker (Hrsg.)

Kluwer Academic Publishers, 2001

235 Seiten

ISBN 1-4020-0679-9

Kooperierende, mobile, intelligente Roboter - auch als Robotswarms bezeichnet - werden zukünftig für die Produktionsautomatisierung von enormer Bedeutung werden. In den letzten Jahren wurde intensiv auf diesem industrierelevanten Fachgebiet geforscht.

Das vorliegende Buch ist eine Zusammenstellung von Vorträgen eines NRL Workshops über Mehrroboter-Systeme, welches im März 2002 in Washington, DC. abgehalten wurde. Es enthält Beiträge von Spitzenwissenschaftlern - überwiegend aus den Vereinigten Staaten auf dem Gebiet der intelligenten, mobilen Mehrrobotersysteme sowie der Mensch-Roboter-Kommunikation. Es bietet daher eine fast vollständige Übersicht über derzeit laufende oder abgeschlossene Forschungsprojekte auf diesem Gebiet in den Vereinigten Staaten. Die Beiträge sind nach den Gesichtspunkten Positionsbestimmung und Navigation, Systeme zur Überwachung und Positionsbestimmung, Handhabung, Koordination von Robotern, Neuerungen auf dem Gebiet der Sensorik und Hardware, Entwurf und Lernen sowie Mensch-Robot in Interaktion ausgewählt.

Das Buch stellt eine gute Mischung zwischen Theorie und Praxis dar, gibt einen aktuellen Überblick über den derzeitigen Stand und zukünftige Entwicklungstendenzen auf diesem Fachgebiet der Robotertechnik und kann daher all jenen, die sich mit „fortgeschrittenen“ Robotern beschäftigen, wärmstens empfohlen werden.

P. Kopacek

Cooperative Agents

Applications in the Social Sciences

Nicole J. Saam and Bernd Schmidt (Hrsg.)

Kluwer Academic Publishers, 2001

214 Seiten

ISBN 1-4020-0190-8

Der Term Agenten stellt ein neues Paradigma dar, welches in der Software-Entwicklung seit längerer Zeit bekannt ist. Mittlerweile fand dieser Begriff Eingang in verschiedene Fachdisziplinen und Anwendungsgruppen. In letzter Zeit – nicht zuletzt durch die Entwicklung der menschenähnlichen oder humanoiden Roboter – auch in das Gebiet der Sozialwissenschaften. In letzter Zeit nahm das Interesse an diesem expandierenden Gebiet sehr stark zu, weshalb es notwendig erschien die neuesten Erkenntnisse in diesem Buch zusammenzufassen.

Das Buch versucht auf folgende aktuelle Fragestellungen Antworten zu geben:

- Was sind Agenten und wie kann dieses neue Konzept genutzt werden,
- Welchen Beitrag kann diese neue Technologie in den Sozialwissenschaften leisten und
- Was kann umgekehrt die Sozialwissenschaft für diese neue Entwicklung beitragen.

Vom sozialwissenschaftlichen Standpunkt sind die hervorstechenden menschlichen Eigenschaften:

- Autonomie,
- Soziales Verhalten,
- Aktivität und
- Reaktionsfähigkeit.

Demgegenüber haben Agenten ebenfalls die Eigenschaft der Autonomie und der teilweisen Intelligenz sowie die Eigenschaft mit anderen zu kooperieren und kommunizieren zu können. Diese Eigenschaften stellen eine gute Ergänzung bei ihrer Vereinigung dar.

Deshalb sind in diesem Buch Beiträge sowohl von Vertretern der Sozialwissenschaften als auch der Computerwissenschaften inkludiert. Das Buch ist in drei Hauptteile gegliedert. Entwurf kooperativer Agenten, Simulationstechnik in den Sozialwissenschaften basierend auf dieser Agententechnologie sowie Formen der Kommunikation und Interaktion zwischen menschlichen und künstlichen Agenten.

Das vorliegende Buch gibt eine konzentrierte Übersicht über den derzeitigen Stand auf diesem interdisziplinären neuen Fachgebiet. Es zeigt die Wichtigkeit der Zusammenarbeit von Sozialwissenschaftlern und Computerexperten in der Wissenschaft und bei den Anwendern. Dieses Buch wird einen beschränkten Interessentenkreis finden, für diesen aber eine wahre Fundgrube darstellen.

Socially Intelligent Agents

Creating Relationships with Computers and Robots

K. Dautenhahn, A. H. Bond, L. Canamero & B. Edmonds (Hrsg.)

Kluwer Academic Publishers, 2002

281 Seiten

ISBN 1-4020-7057-8

Das Buch ist das vierte in der Serie „Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations“. Es enthält Beiträge von mehr als 50 Autoren über sozial-intelligente Agenten (Socially Intelligent Agents – SIA). SIAs sind mit Künstlicher Intelligenz ausgestattete Software- und Hardware-Agenten, welche bereits menschenähnliches soziales Verhalten aufweisen. Dadurch unterscheiden sich diese Systeme grundsätzlich von den bereits – nicht nur aus der Literatur bekannten – Mehragentensystemen (Multi-Agent Systems – MAS).

Das Buch enthält 32 Beiträge, welche unter den Oberbegriffen Theorie, technologische Konzepte von SIAs sowie derzeitige Anwendungen von SIAs angeordnet sind.

Im ersten Teil wird auf die Beziehungen zwischen Agenten und Menschen, Agenten und Emotionen, Communities von SIAs eingegangen.

Im zweiten Teil stehen interaktive therapeutische Systeme, intelligente Roboter mit sozialer Intelligenz, interaktive Ausbildung, SIAs in Spielen und zur Unterhaltung sowie in E-Commerce im Vordergrund. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass sich die Beiträge in diesen beiden Teilen teilweise fachlich überlappen.

Die Beiträge dieses Buches stellen unter anderem einen Meilenstein in der Entwicklung menschenähnlicher Roboter dar, welche zukünftig als Personal Robots relativ preiswert verfügbar sein werden.

P. Kopacek

Integrierte Produktentwicklung

Denkabläufe Methodeneinsatz Zusammenarbeit

Klaus Ehrlenspiel

Carl Hanser Verlag, 2003; 2. überarb. Auflage
735 Seiten, 443 Abbildungen
ISBN 3-446-22119-0

Die erste Auflage dieses Buches aus dem Jahr 1995 hat sich bereits zu einem Standardwerk im Bereich Entwicklung und Konstruktion des Maschinenbaus entwickelt. Es ist das Ergebnis langjähriger Konstruktionserfahrung in der Industrie und rund zwei Jahrzehnten Konstruktionsmethodik aus Lehrveranstaltungen an Hochschulen.

In diese zweite Auflage flossen neuere Erkenntnisse aus dem Gebiet der Denkpsychologie, welche für Hochschule und Praxis fundamental sind, ein. Diese werden kurz angesprochen, aber dadurch der schon ursprünglich angelegte „Menschenzentrierte“ Schwerpunkt des Buches noch mehr betont. Weiters wurde der Abschnitt über die Methoden des Qualitätsmanagements erweitert und Methoden zur innovativen Lösungssuche - beispielsweise Variantenmanagement und Baukastensysteme – verstärkt besprochen. Als Nebenbemerkung das Kürzel „IP“ für integrierte Produktentwicklung wurde durchgehend durch „IPE“ ersetzt.

Die vorliegende zweite Auflage kann genauso wie die erste sowohl dem Forscher als auch dem praktisch tätigen Ingenieur wärmstens empfohlen werden.

P. Kopacek

Matlab 6.5 Eine Einführung

Christoph Überhuber und Stefan Katzenbeisser

Springer Verlag, 2002
241 Seiten, 51 Abbildungen
ISBN 3-211-83826-0

Matlab ist unter den multifunktionalen Programmsystemen der prominenteste Vertreter der numerisch orientierten Produkte. Multifunktionale Programmsysteme vereinigen mit unterschiedlichen Schwerpunkten die Funktionalität von Numerik-, Symbolik- und Grafik-Systemen in übergeordneten Softwareprodukten mit einheitlicher Benutzerschnittstelle. Sie ermöglichen die komfortable interaktive Bearbeitung rasch wechselnder Aufgaben am PC oder auf einer Workstation.

Mit diesem interaktiven Programm können Gleichungen sehr einfach definiert und ausgewertet, Daten und selbst definierte Funktionen gespeichert sowie Berechnungsergebnisse grafisch dargestellt werden. Es umfasst neben Methoden der Matrizenrechnung noch viele andere numerische Verfahren, z.B. zur Nullstellenbestimmung von Polynomen, für die Fast-Fourier-Transformation, für die numerische Lösung von Anfangswertproblemen gewöhnlicher Differentialgleichungen. Das vorliegende Buch entstand aus Lehrveranstaltungen, die die Verfasser an der Technischen Universität Wien abgehalten haben oder abhalten. Es gibt eine umfassende, aber doch konzentrierte leicht lesbare Einführung in dieses Standard-Softwarepaket.

P. Kopacek

Modern Business English for Industrial Engineers

Karl-Heinz Zürl

Carl Hanser Verlag, 2003

378 Seiten, 43 Bilder

Grammatikteil, Übungsteil mit Antworten sowie Wörterbuchteile

Englisch-Deutsch und Deutsch-Englisch

ISBN 3-446-22076-3

Dieses Lehr- und Übungsbuch ist sowohl für Angestellte und Manager als auch für künftige Wirtschaftsingenieure in der Praxis gedacht, die für ihren Kontakt mit Auslandskunden ein sicheres betriebswirtschaftliches Fachvokabular in englischer Sprache benötigen. Die inhaltlichen Schwerpunkte liegen bei Automotive Engineering und Construction Industry.

Die Texte sind einfach strukturiert und verständlich formuliert, schwieriges Fachvokabular ist durch Fußnoten erklärt. Behandelt werden schriftliche Kommunikation (interne Briefe, Protokolle, formelle Briefe, Faxe, Anzeigen etc.) und mündliche Kommunikation (Telefongespräche, Präsentationen, Konferenzen, Verhandlungen, Rede usw.).

Erläuterungen zur Grammatik sowie ein Anhang mit einem Business-Wörterbuch und einem Lexikon runden das Buch ab. Es wird auch auf die Unterschiede zwischen dem „British English“ und dem „American English“ hingewiesen.

P. Kopacek

Wörterbuch Antriebstechnik Dictionary of Drives

Thomas Antoni

Publicis Corporate Publishing
CD ROM, Ausgabe 2002
ISBN 3-211-89578-171-1

Print-Ausgabe
Publicis Corporate Publishing, 2000
2. überarbeitete und erweiterte Auflage
813 Seiten
ISBN 3-89578-156-8

Dieses Wörterbuch enthält mehr als 60.000 Einträge mit 120.000 Übersetzungsvorschlägen von Begriffen aus der Antriebs- und der Automatisierungstechnik sowie verwandten technischen Gebieten. Man findet auch viele Stichwörter aus Betriebswirtschaft, Marketing, Werbung und der technischen Aus- und Weiterbildung.

Gegenüber der 1. Auflage wurde der Wortschatz um ungefähr 40% erhöht. Schwerpunkte der Neueinträge sind vor allem in den Gebieten Automatisierungstechnik, Feldbustechnologien und elektrische Maschinen zu finden.

Durch die umfassende Informationsaufbereitung und das handliche Format ist die CD ROM ein echtes Hilfsmittel, das sowohl Studenten als auch Praktiker ständig zur Hand haben können.

P. Kopacek

Ein Gesamtkonzept für ein modulares Krankenhausinformationssystem

Dr. Ahmad Gharaei

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

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem EDV-Einsatz im Gesundheitswesen und kombiniert eine wissenschaftliche Betrachtungsweise mit der praktischen Umsetzung in einem Teilbereich, nämlich dem medizinischen Labor eines Krankenhauses.

Die Aktivitäten erstreckten sich von der fundierten Analyse der Problemsituation, der Berücksichtigung des organisatorischen und technischen Umfelds, der Einarbeitung von wissenschaftlichen Methoden und Erkenntnissen, der intensiven Kommunikation mit den betroffenen Anwendern bis zur Verwendung von State-of-the-art Technologien im Bereich grafische Benutzeroberflächen (GUI) und Datenbanktechnologien.

Einleitend wird der internationale Stand der Entwicklung im Bereich Krankenhausinformationssysteme aus wissenschaftlicher, praktischer und technologischer Sicht beleuchtet. Danach werden die bei modularen Lösungen notwendigen Normen und Schnittstellen dargestellt, die in welt- bzw. europaweiten Standards (z.B. HL7 bzw. EDIFACT) ihren Niederschlag finden.

Auf dieser Basis wurde ein Prototyp eines Laborinformationssystems (LIS) entwickelt. Dafür war es notwendig, den gesamten Bereich zu analysieren und die Prozesse zu dokumentieren. Es wurde dabei auf eine breite Einbindung von den zukünftigen Anwendern Wert gelegt, um einerseits eine fundierte Analyse, andererseits hohe Akzeptanz für das System zu erhalten.

Wissenschaftliche Recherchen hinsichtlich Ergonomie von Grafischen Benutzeroberflächen (GUI) und Rapid-Prototyping waren wesentlich für die rasche und benutzeradäquate Implementierung der Anwendung.

Der Prototyp erwies sich im Praxistest als tauglich und könnte mit einem Minimum an Verfeinerungen in einen problemlosen Routinebetrieb übergeführt werden.

Ein Beitrag zur Anwendung Neuronaler Netze

Dipl.-Ing.(FH) Stefan Körber

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

Diese Arbeit untersucht den Einsatz von Neuronalen Netzen in industriellen Applikationen. In der heutigen Zeit finden Themengebiete wie Neuronale Netze, Fuzzy Logic und genetische Algorithmen immer mehr Bedeutung. Auf der Suche nach schnelleren leistungsfähigeren Systemen stellen Soft Computing Methoden eine wichtige Alternative zu konventionellen Systemen dar.

Die Grundidee dieser Arbeit ist eine Realisierung von ausgewählten Projekten aus Technik und Wirtschaft mit Hilfe von intelligenten Technologien. Dabei werden auch konventionelle Lösungsansätze beschrieben und mit den entwickelten Resultaten verglichen. Durch eine Evaluierung der Ergebnisse sollen die Einsatzmöglichkeiten von Neuronalen Netzen analysiert werden.

Die Basis der Untersuchungen stellen zwei Fallstudien dar: die Prognoseaufgabe „Intelligent Cash Management for ATM Machines“ und die Klassifikationsaufgabe „Basel 2 – Kreditrating“. Als Entwicklungsumgebung steht das Soft Computing Tool ECANSE zur Verfügung, welches ein einfaches Implementieren von Neuronalen Netzen, Fuzzy Logic und genetischen Algorithmen erlaubt.

Das erste Projekt beschreibt die Verbesserung von herkömmlichen statistischen Vorhersagesystemen durch Neuronale Netze. Zusätzlich wird der Einsatz eines Expertensystems diskutiert und eine Kombination der beiden Technologien vorgestellt. Das entwickelte Gesamtsystem verbindet damit die Flexibilität des Expertensystems mit der Eigenschaft des Neuronalen Netzes, Muster und Trends aus historischen Daten zu extrahieren.

In der zweiten Fallstudie werden Kohonen Netze zur Lösung von Klassifikationsaufgaben verwendet. Dabei steht die Entwicklung eines neuen Algorithmus im Vordergrund, welcher ein automatisches Evaluieren der gefundenen Cluster ermöglicht.

Die Arbeit zeigt, dass der Einsatz von Neuronalen Netzen nur dann sinnvoll ist, wenn eine ausreichende Menge an aussagekräftigen Lerndaten verfügbar ist.

Festveranstaltung

20 Jahre IFAC-Beirat Österreich

11. Juni 2003, 10.00 – 11.30 Uhr

Ort: Technische Universität Wien, Festsaal
1040 Wien, Karlsplatz 13

Programm

- 10.00 – 10.30 Eröffnung
Prof. Dr. Dr.h.c.mult. P. Kopacek
Generalsekretär des IFAC-Beirates Österreich
IHRT – Technische Universität Wien
- Senator h.c. Dr. N. Rozsenich
Präsident der Österreichischen Gesellschaft für
Automatisierungs- und Robotertechnik – ÖGART
- Magnifizenz Prof. Dr. P. Skalicky
Rektor der Technischen Universität Wien
- 10.30 – 11.15 Festvortrag:
Current Status and Future Trends in Process Automation
Prof. Sirkka-Liisa JAMSA-JOUNELA
Process Control and Automation
Helsinki University of Technology
Council Member of IFAC
- 11.15 – 11.30 Schlussworte
Prof. Dr. Dr.h.c.mult. P. Kopacek

IFAC Workshop on "Technology and International Stability" (SWIIS '03)

July 03 - 05, 2003

Waterford,

Republic of Ireland

SCOPE

Technology development leads to dramatic changes in international stability. The scope of this IFAC/SWIIS Workshop is to offer insights into mitigating unwanted side-effects of rapid development and to share methodologies for appropriate ways of managing the introduction to technologies which will alter social stability.

TOPICS

- Social Aspects of Technology
- Managing the Introduction of Technological Change
- Ethical Aspects of Technological Proliferation
- Modeling Social Change Likely to Follow a New Technology
- Case Studies of Technology Transfer and Social Change
- Technology and Environmental Stability

MAILING ADDRESS:

Institute for Handling Devices and Robotics (E318)

Vienna University of Technology

SWIIS'03

Favoritenstraße 9-11/E318

A-1040 Vienna - Austria

Tel.: +43/1/ 58801 31801

Fax: +43/1/ 58801 31899

swiis@ihrt.tuwien.ac.at

**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 (2003 zum neunten 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

wird 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.

Der Fred Margulies-Preis wird am 2. Oktober 2003 auf dem 18. Österreichischen Automatisierungstag im Rahmen der „VIET“ – Internationale Fachmesse für Elektrotechnik, Elektronik, Licht, Automation, Antriebs- und Messtechnik - im Messezentrum 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 2003 in einfacher Ausfertigung zusammen mit einer Kurzfassung (max. 10 Seiten) beim

**Generalsekretariat des IFAC-Beirates
c/o Institut für Handhabungsgeräte- und Robotertechnik der Technischen Universität,
Favoritenstraße 9-11, 1040 Wien**

(Tel. 58801-31801; E-mail: nemetz@ihrt.tuwien.ac.at)

einzureichen.

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



FIRA Roboterfußball Weltmeisterschaft

28. September – 3. Oktober 2003, Wien, Österreich

IHRT



Einladung zur Teilnahme

Vorsitzender

P. Kopacek (Austria)

Competition co-chairs

[HuroSot]

J. Baltes (Australia)
T. Braunl (Australia)

[MiroSot]

M. W. Han (Austria)
B. Horak (Czech Republic)
P. Vadakkepat (Singapore)

[KheperaSot]

J. Sitte (Australia)

[NaroSot]

S. H. Kim (Korea)

[RoboSot]

K. S. Shin (Korea)

[SimuroSot]

B. R. Hong (China)
J. Jo (Australia)
B. Reusch (Germany)

Nationales Organisationskomitee

M.W. Han
I. Nemetz
B. Putz

Ehrenschutz

Dr. M. Häupl (Bürgermeister der Stadt Wien)
Magnifizienz Prof. Dr. P. Skalicky (Rektor der Technischen Universität Wien)

Organisiert von

- Institut für Handhabungsgeräte und Robotertechnik (IHRT) der Technischen Universität Wien (TU Wien)

In Zusammenarbeit mit

- Österreichische Gesellschaft für Automatisierungs- und Robotertechnik – ÖGART
- Österreichische Gesellschaft für Messtechnik und Automatisierung – ÖGMA
- IFAC Beirat Österreich

Sponsoren

- Stadt Wien
- Reed Messe
- Technische Universität Wien (TU Wien)
- Österreichische Computer Gesellschaft – OCG
- Ecotronics

Kategorien der Wettkämpfe

- HuroSot
- KheperaSot
- MiroSot (Large, Middle und Small League)
- NaroSot
- RoboSot
- SimuroSot (Large und Middle League)

Austragungsort

- Messezentrum Wien, Halle 14

Anmeldung

An dieser FIRA Roboterfußball-Weltmeisterschaft werden die weltbesten Teams teilnehmen. Für weitere Fragen stehen sowohl das FIRA Weltmeisterschafts-Organisationskomitee als auch das FIRA Headquarter zur Verfügung.

Verwandte Veranstaltungen – FIRA World Congress

Parallel zur FIRA Roboterfußball-Weltmeisterschaft findet der FIRA Roboterfußball-Kongress statt. Bei diesem Kongress werden die aktuellen Forschungsergebnisse im Bereich der Robotertechnik präsentiert und diskutiert. Themenschwerpunkte sind: Anwendung und Entwicklung von Robotern in den Bereichen der Unterhaltung, Erziehung, Service und Haushalt. Die Beiträge in den Bereichen Theorie, Entwicklung und Anwendung von allgemeiner Robotertechnik werden ebenfalls behandelt.

FIRA World Cup Austria Headquarter

Institut für Handhabungsgeräte und Robotertechnik
Technische Universität Wien,
Favoritenstr. 9-11/318, A-1040 Wien
Tel. : +43-1-58801 31801, Fax : +43-1-58801 31899
Email : e318@ihrt.tuwien.ac.at
Homepage : <http://www.ihrt.tuwien.ac.at/FIRAWM03>



FIRA Robot World Congress Austria

October 1-3, 2003, Vienna, Austria

IHRT



Call for Papers

Parallel to the FIRA World Cup Austria the FIRA World Congress will be organized. The congress will review and discuss the major advances in science and technology regarding robotics. Particular emphasis will be given to the applications and development in the area of entertainment/education/service/ personal robots. The contribution should focus on theories, principles and developments as well as application in the common field of robotics.

General Chair
P. Kopacek (Austria)

International Program Committee

P. Albertos (Spain)
M. Cecarelli (Italy)
H. S. Cho (Korea)
R. Dillmann (Germany)
T. Dinibütün (Turkey)
G. Fürsinn (Austria)
F. Harashima (Japan)
B.R. Hong (China)
J. H. Kim (Korea)
W. H. Kwon (Korea)
D. Matko (Slovenia)
J. Paiuk (Argentina)
C. E. Pereira (Brazil)
B. Reusch (Germany)
N. Rozsenich (Austria)
P. Robinson (UK)
I. Rudas (Hungary)
J. Sa Da Costa (Portugal)
G. Schmidt (Germany)
R.D. Schraft (Germany)
J. Sitte (Australia)

Organized by

- Institute for Handling Devices and Robotics – IHRT, Vienna University of Technology - VUT

Cooperation with

- Austrian Society for Automation and Robotics – ÖGART
- Austrian Society for Measurement and Automation – ÖGMA
- Austrian IFAC Supervisory Board – IFAC Beirat Österreich

Sponsored by

- City of Vienna
- Vienna University of Technology - VUT
- Austrian Computer Society – OCG

Topics include but are not limited to:
Specific topics

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| - Artificial Life | - Machine Vision |
| - Adaptive Systems | - Mechatronics |
| - Entertainment Robots | - Multi-Agent Systems |
| - Humanoid Robots | - Navigation |
| - Human Robot Interface | - Path Planning |
| - Intelligent Control | - Robot Soccer Simulation |
| - Intelligent (Smart) Sensors | - Sensors and Control |
| - Legged Robots | - Supervisory Control |
| - Machine Learning | |
| - Robot Soccer System | |
| ▪ HuroSot | ▪ NaroSot |
| ▪ KheperaSot | ▪ RoboSot |
| ▪ MiroSot | ▪ SimusoSot |

Regular Paper Submission :

Authors should submit an extended abstract electronically in pdf format - 600 words – the email address : e318@ihrt.tuwien.ac.at. The first page of the paper must contain the title, the names and affiliations of the authors, email address, and four key words/phrases. Please identify the corresponding author giving full contact information including email.

Invited Sessions:

The Program Committee also solicits proposals for invited sessions within the technical scope of the congress. Each proposal for an invited session should describe the theme and scope of the proposed session and how the papers form a cohesive and complementary in the session topic. One session typically contains six (6) papers. The proposal must contain the title and theme of the session and a list of paper's title, names and email addresses of the corresponding authors. Session proposals must be submitted through the email address : e318@ihrt.tuwien.ac.at.

Proceeding and CD Rom

A CD-ROM and a Book of Abstract will be provided at the congress. A hard copy for the proceeding will be available at an additional charge.

Important dates :

- Abstract submission June 15, 2003
- Notification of Acceptance July 15, 2003
- Camera-ready Manuscript August 15, 2003

For further information, please contact the secretariat :

FIRA World Congress Austria
Institute for Handling Devices and Robotics
Vienna University of Technology
Favoritenstr. 9-11/318
A-1040 Vienna, Austria
Tel. : +43-1-58801 31801, Fax : +43-1-58801 31899
Email : e318@ihrt.tuwien.ac.at
Homepage : <http://www.ihrt.tuwien.ac.at/FIRAWC03>

IFAC Multitrack Conference on "Control Strategies for Social and Economic Systems

September 2 - 4, 2004

Vienna, Austria

SCOPE

Automation and closely related technological changes have an increasing impact on society. This multitrack conference is a first trial to bring together scientists and industrial people to discuss emerging problems related to control and automation in the next triennium as well their impact on technological and economical development of society.

TOPICS

- Managing the introduction of technical changes,
- Technology and environmental stability
- Modeling social changes to follow a new technology
- Social responsibility of Control Engineers
- Socially appropriate guidelines for control design
- Socio-technical systems as complex composite systems
- Ethics, effects of automation in engineering
- Control Engineering in the service of mankind
- Knowledge and Technology transfer
- Building the infrastructure systems
- Operational maintenance of infrastructure systems
- Upgrading the industrial control systems
- Enhancing appropriate control education
- Decision and control in economics of developing countries
- Life cycle cost of automation systems
- Network economics and networking the national economics
- E – Business
- Artificial intelligence for Social/Economic Systems
- Control of chaos in Social/Economic Systems
- Balanced automation systems
- Smart/intelligent devices and systems

PAPER SUBMISSION

Deadline for the organization of invited session:	November 1, 2003
Deadline for submission of draft papers:	November 15, 2003
Notification of the acceptance :	March 1, 2004
Submission of the Camera-ready paper :	July 1, 2004

MAILING ADDRESS:

Institute for Handling Devices and Robotics (E318)

SWIIS'03

Vienna University of Technology

Favoritenstrasse 9-11/E318;

Tel.: +43/1/ 58801 31801

swiis@ihrt.tuwien.ac.at

A-1040 Vienna - Austria

Fax: +43/1/ 58801 31899

<i>Datum</i>	<i>Veranstaltung</i>	<i>Ort</i>	<i>Weitere Informationen erhältlich bei:</i>
12.3.2003	4. Österr.-brasilian. Automatisierungstag	<i>Sao Paulo Brazil</i>	e-mail: kopacek@ihrt.tuwien.ac.at
8.-11.4.2003	IFAC Conference Intelligent Control Systems and Signal Processing – INCONS 2003	<i>Faro Portugal</i>	http://conference.ptrede.com e-mail: icons03@ualg.pt
4.-6.6.2003	American Control Conference (in Co-operation with IFAC)	<i>Denver, CO USA</i>	http://acc2003.me.berkeley.edu/ e-mail: bequeb@rpi.edu
9.-11.6.2003	5th IFAC Symposium Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes – SAFEPROCESS	<i>Washington, DC USA</i>	http://safeproc.gmu.edu e-mail: jgertler@gmu.edu
16.-18.6.2003	6th IFAC Symposium Advances in Education - ACE 2003	<i>Oulu Finland</i>	http://ntsat.oulu.fi e-mail: office@atu.fi
3.-5.7.2003	IFAC Workshop on Technology International – SWIIS'03	<i>Waterford and Republic of Ireland</i>	http://www.ihrt.tuwien.ac.at/swiis03 e-mail: swiis@ihrt.tuwien.ac.at
1.-3.10.2003	FIRA Robot World Congress Austria	<i>Vienna Austria</i>	e-mail: e318@ihrt.tuwien.ac.at http://www.ihrt.tuwien.ac.at/FIRAWC03
28.9.-3.10.2003	FIRA Robot World Cup Austria	<i>Vienna Austria</i>	e-mail: e318@ihrt.tuwien.ac.at http://www.ihrt.tuwien.ac.at/FIRAWM03