

MATHEMATISCHES FORSCHUNGSMITTEL OBERWOLFACH

T a g u n g s b e r i c h t 12/1988

Regelungstheorie

20.3. bis 26.3.1988

Die diesjährige Tagung über Regelungstheorie wurde wieder gemeinsam von H.W. Knobloch (Würzburg) und M. Thoma (Hannover) geleitet.

Mit einer Gesamtzahl von 35 teilnehmenden Wissenschaftlern zeigte sich die Teilnehmerzahl gegenüber der letzten Tagung vor zwei Jahren unverändert. Auch diesmal wurde das starke internationale Interesse zur Teilnahme an der Tagung daran deutlich, daß etwa die Hälfte der Teilnehmer aus dem Ausland kam; dabei ist besonders hervorzuheben, daß auch ein Wissenschaftler aus der Sowjetunion begrüßt werden konnte.

Zwei Schwerpunktthemen waren für die Tagung vorgesehen; dabei handelte es sich zum einen um "Adaptive Systeme und Systemidentifikation" und zum anderen um " H_∞ -Optimierung". Bedingt durch einige kurzfristige Absagen von Teilnehmern konnte das zweite Thema nicht in der ursprünglich vorgesehenen Breite behandelt werden. In dem Beitrag zu diesem Thema wurden neben neuen Ergebnissen, die sich auf direktere Lösungsmöglichkeiten des Standard-Problems ohne die Schwierigkeiten durch Polkürzungen beziehen, jedoch auch die generellen Aspekte herausgestellt, die die H_∞ -Theorie zur Behandlung von Regelungssystemen als geeignetes Werkzeug erscheinen lassen.

Der zweite Schwerpunktbereich wurde von einer Reihe von Vortragenden behandelt. So wurde für adaptive Regelungen ein Verfahren vorgestellt, das zwei unabhängige Schätzer für die System- und Reglerparameter benutzt. Der auftretende Fehler im charakteristischen Polynom des geschlossenen Kreises wird dann in geeigneter Weise zur Beeinflussung des Kreises durch Anregungssignale verwendet. Zwei Vortragende beschäftigten sich direkt mit Parameterschätzverfahren. Dabei behandelte ein Vortrag unterschiedliche Möglichkeiten für das Vergessen in rekursiven Parameterschätzverfahren bei langsam zeitvariablen Prozesse, wobei insbesondere ein richtungsabhängiger Vergessensmechanismus diskutiert wurde. In dem anderen Vortrag wurde die Problematik der Parameterschätzung bei schlecht identifizierbaren nichtlinearen Systemen erörtert und eine adaptive, optimierte Gestaltung des dynamischen Experiments zur Ermittlung der Parameter, beruhend auf der Informationsmatrix, vorgeschlagen.

Schließlich wurden auch in einem weiteren Vortrag auf der Grundlage singulärer Perturbationen neue Ergebnisse für das asymptotische Verhalten von Regelkreisen mit statischer Ausgangsrückführung bei großen Verstärkungen vorgestellt. Dabei eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Behandlung des inversen Problems der Kontrolltheorie (Rekonstruktion des Eingangssignals aus dem Ausgangssignal), wobei hier der Ausgang (und nicht die Zeit) diskretisiert wird.

Fragen der Systemstabilität wurden auch auf der diesjährigen Tagung wieder in breitem Umfang behandelt, wobei insbesondere die Robustheit gegen Änderungen der Parameter der Strecke und des Reglers im Vordergrund stand. Ein Beitrag beschäftigte sich mit der grundlegenden Problematik der Definition einer geeigneten Topologie und Metrik zur Bewertung des Abstandes zwischen Systemen, von der ausgehend dann eine Reihe von Bedingungen für robuste Stabilität aufgestellt wurden. In einem weiteren Vortrag wurden Bereichsbedingungen für die Robustheitsanalyse untersucht und die günstigste Wahl der Abbildung für einen Vergleich zwischen gewünschtem Ergebnis (P -Stabilität) und dem tatsächlichen Verhalten des Regelkreises ermittelt. Auch der dritte Vortrag zu dieser Thematik behandelte eine entsprechende Bereichsbedingung; für zeitdiskrete Systeme wurde ein dem Kharitonov-Theorem im kontinuierlichen Fall entsprechendes Verfahren vorgestellt, das eine erhebliche Reduktion des Untersuchungsaufwands ermöglicht. Ein weiterer Beitrag behandelte Wurzelortskurvenverfahren zur Stabilitätsuntersuchung von Mehrgrößensystemen, wobei eine Zeittransformation mit einem freien Parameter vorgeschaltet ist, der zur Einstellung zusätzlicher Entwurfsziele dient.

Verfahren der Reglersynthese standen ebenfalls im Mittelpunkt eines weiteren Beitrags, bei dem Beschränkungen der Signale in Form von verallgemeinerten Energiemaßen vorgegeben waren. Zwei Vortragende befaßten sich mit den Lösungsmengen von Differentialgleichungen mit unbestimmten Eingangsgrößen. Einerseits wurde das Maximumprinzip für die Lösung des zeitoptimalen Steuerungsproblems im Falle der differentiellen Einschließungen formuliert und zum anderen wurde auf die Bedeutung der Evolutionsgleichungen als Hilfsmittel zur Behandlung von Problemen mit unsicheren Eingangs- und Ausgangsgrößen hingewiesen.

Zwei grundlegende Arbeiten zur linearen Systemtheorie wurden ebenfalls vorgetragen und diskutiert. Ein Vortragender stellte neue Gesichtspunkte zur Klassifizierung mathematischer Modelle für lineare zeitinvariante dynamische Systeme vor. Er entwickelte in seinem Vortrag ein neues Konzept zur Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit, das bemerkenswerterweise beide Eigenschaften nicht mehr als streng dual erscheinen läßt. In einer weiteren Arbeit wurden die Charakterisierungen von Eingangs- und Ausgangsgrößen, die Invertierbarkeit von Systemen und die Realisierung unter Benutzung von Methoden der Differentialalgebra erörtert. Die Ergebnisse lassen auch die Anwendung auf zeitvariable Systeme zu.

Die größte Gruppe von Vortragenden behandelte nichtlineare Systeme, für die eine Reihe von Ergebnissen zur Entkopplung vorgestellt wurden. - Insbesondere ist es gelungen, Bedingungen anzugeben, die eine Möglichkeit der Entkopplung unter Gewährleistung der Stabilität sicherstellen, ggf. mittels dynamischer Rückführung. Für die Störgrößenkompensation mit der Bedingung asymptotischer oder BIBO-Stabilität konnten ebenfalls Bedingungen hergeleitet werden. Für dieses Problem stellte ein weiterer Referent Ergebnisse von vergleichenden Untersuchungen zur Lösbarkeit des linearisierten sowie des nichtlinearen Problems vor. Ein weiterer Vortrag beschäftigte sich mit Invarianten bei Rückführung oder bei Koordinaten-Transformation nichtlinearer Systeme. Ausgehend von Ergebnissen für lineare Systeme wurden Erweiterungen auf nichtlineare Systeme vorgestellt. Die Regelung nichtlinearer Systeme stand auch im Mittelpunkt eines Vortrags, bei dem die nichtlinearen Signale durch externe Störsignale linearer Systeme approximiert werden, die dann mittels Störgrößen-Entkopplung möglichst gut unterdrückt werden. Das Entwurfsverfahren fand bereits bei der Positionsregelung für einen Industrieroboter Anwendung.

In einer Reihe von weiteren Vorträgen kamen Beispiele für Anwendungen theoretischer Verfahren zur Sprache. Dazu gehört der Entwurf eines nichtlinearen Beobachters für die Spannungsregelung eines Synchron-Generators, der in zwei Stufen für den elektrischen und den mechanischen Teil getrennt erfolgte. Beobachter für Systeme mit linearen, bilinearen und quadratischen Termen wurden ebenfalls vorgestellt, wobei Anwendungen aus dem Bereich der Abwasserreinigung zugrundelagen. Die Regelung hydraulischer Antriebe, die in guter Näherung durch bilineare mathematische Modelle beschreibbar sind, bildete eine weitere Anwendung. Ferner wurde auch eine lineare Anwendung vorgestellt, nämlich der Entwurf eines aktiven Dämpfers für Fahrzeugschwingungen. Dieses Problem weist durch hohe Systemordnung und eine große Anzahl von Optimierungsparametern einen hohen Grad an Komplexität auf. Weitere aus der Mechanik stammende Problemstellungen wurden in Vorträgen über das Verhalten Lagrangescher Systeme, bei denen Ableitungen der Eingangsgröße auf der rechten Seite des beschreibenden Dgl.-Systems auftreten, und über die Regelung eines flexiblen Balkens mit viskoelastischer Dämpfung vorgestellt.

Eine wachsende Bedeutung in den Anwendungen der Produktions- und Fertigungssteuerung haben diskrete Systeme. Unter Benutzung der Max-Algebra lassen sich solche Probleme besser als in konventioneller Darstellung bearbeiten. Die Erweiterung auf stochastische Systeme wurde in einem weiteren Vortrag dargestellt. Interessante Einblicke in neuronale Netzwerke vermittelte schließlich ein Beitrag, der sich mit dem Lernverhalten derartiger Netzwerke beschäftigte. Es konnte der Beweis erbracht werden, daß die von verschiedenen Autoren geäußerte Vermutung, zwei unterschiedliche Phasen seien für ein Lernverhalten erforderlich, zutrifft.

Aus der hier gezeigten Zusammenfassung wird deutlich, daß auch auf der diesjährigen Tagung über Regelungstheorie wieder ein breites Spektrum unterschiedlicher Forschungsrichtungen aus diesem Themengebiet vertreten war. Die Anzahl der Vorträge lag etwas höher als bei den letzten Tagungen, so daß das Vortragsprogramm schon ziemlich gedrängt werden mußte. Trotzdem blieb aber auch auf dieser Tagung wieder ein breiter Raum für intensive Diskussionen, wobei gerade der Gedankenaustausch zwischen Mathematikern und Ingenieuren, die Gegenüberstellung von Theorie und Anwendungen und die Präsentation von Ergebnissen unterschiedlichsten Abstraktionsgrades die Tagung wie in den vergangenen Jahren wieder zu einem überaus fruchtbaren und anregenden Erlebnis für alle Teilnehmer werden ließ.

Die zukünftige Entwicklung in der Regelungstheorie vorherzusagen, kann sicherlich nicht die Aufgabe dieses Berichts sein. Anhand der auf der Tagung präsentierten und diskutierten neuesten Arbeiten zeichnet sich jedoch folgendes Bild ab: Die lineare Theorie ist noch nicht so abgeschlossen, wie man dies vielleicht schon vor einiger Zeit erwartet hätte. Arbeiten zur robusten Stabilität, grundlegende Diskussionen zur Modellierung sowie die Anwendung neuer mathematischer Hilfsmittel wie etwa in der H_∞ -Optimierung zeigen dies deutlich. Andererseits hat auch die nichtlineare Theorie in jüngster Zeit weitere Erkenntnisse erbracht, wobei beispielsweise in bezug auf Bilinearisierung von Systemen oder die Verwendung polynomischer Modelle interessante Anwendungen zu erwarten sind. Auf die Entwicklung dieses interdisziplinären Gebiets darf man also weiterhin gespannt sein!

Vortragsauszüge

J. Ackermann: Robustness analyses

For a linear, time-invariant control system with uncertain parameters $q \in Q$ the eigenvalues must be located in a desired region Γ , i.e. it must be tested whether

$P(s,q) = p_0(q) + p_1(q)s + \dots + p_{n-1}(q)s^{n-1} + s^n \neq 0 \quad \forall s \in \Gamma, q \in Q$
where the $p_i(q)$, Γ , and Q are given. Different possibilities of robustness analyses are presented and illustrated by examples:

- i) calculation of the Q root region in the s -plane and comparison with Γ (edge result by Bartlett, Hollot, Huang)
- ii) comparison of the Q - and Γ -constraints in the coefficient space. Recommended only in the special case, when Q maps into a "Kharitonov"-box.
- iii) Mapping $\partial\Gamma$ into q -space and comparison with Q
 - a) for Hurwitz-like cases tests of pairs of vertices
 - b) for arbitrary simply connected Γ by mapping of $\partial\Gamma$.

S. Aseev: Smooth approximations of optimal control problems for differential inclusions

An optimal control problem for differential inclusions with convex compact right-hand side is considered and a method of approximation by a sequence of control problems with smooth right-hand side is proposed. It is based on the usual smooth approximation technique and a penalty function method. As application, it is shown, which maximum principle for differential inclusions can be derived directly from the Pontrjagin maximum principle.

C. Byrnes: Nonlinear disturbance decoupling with stability

We consider the situation where a nonlinear system

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x) + ug(x) + \delta(x)w \\ y &= h(x)\end{aligned}$$

with state $x \in \mathbb{R}^n$, control $u \in \mathbb{R}$, and output $y \in \mathbb{R}$ is corrupted by a disturbance w , entering through the nonlinear channel $\delta(x)$. f, g, δ are smooth vector fields and h is also C^∞ . The problem we consider is to find a feedback law, $u = \alpha(x)$, which simultaneously achieves two goals: First, to decouple the output y_t from the effects of the disturbance and, second, so that the closed loop system

$$\begin{aligned}\dot{x} &= (f + \alpha g) + \delta w \\ y &= h(x)\end{aligned}$$

is bounded-input, bounded-state stable, when viewed as being driven by w . In particular, bounded w_t produces bounded x_t . This problem contains therefore the important problems of asymptotic stabilization, via feedback, of nonlinear systems, and the more difficult problem of BIBO stabilization as special cases. Using center-manifold methods, adapted to invariant dynamics having a bounded attractor, we achieve the design of explicit feedback laws satisfying both objectives under a mild strengthening of necessary conditions analogous those arising in the linear case, but using methods from nonlinear dynamics quite heavily. (joint work with A. Isidori)

N. Dourdoumas: Reglersynthese bei verallgemeinerten Beschränkungen der Systemgrößen

Es wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem die maximale Energie der Ausgangsgröße eines linearen zeitinvarianten

Übertragungssysteme berechnet werden kann, dessen Eingangsgröße verallgemeinerten Energiebeschränkungen genügt. Das Verfahren basiert auf einem Algorithmus der linearen semi-infiniten Optimierung. Die Ergebnisse werden dazu verwendet, einen Regelkreis rechnerunterstützt so zu dimensionieren, daß die Energien interessierender Systemgrößen vorgegebene Schranken nicht überschreiten.

M. Fliess: Some remarks on generalized linear systems

By employing differential vector spaces, we obtain results for linear systems with constant or varying coefficients and with lumped or distributed parameters, which are only known for constant linear systems described by rational transfer matrices. Questions like the characterization of input and output, input-output equivalence, invertibility, feedback decoupling and realization are investigated.

D. Franke: A data condensing root locus method for multivariable control systems

The contribution is motivated by a drawback involved with the root locus method for MIMO control systems by A.G.J. MacFarlane (1977). The alternative proposed utilizes all disposable parameters of the controller such as to meet design objectives like model matching and non-interaction. The method is characterized by condensing all controller parameters to a scalar design parameter and by calculation of a data condensing root locus plot for rigorous examination of stability. Performance will be guaranteed by the method of balancing generalized Fourier coefficients.

M.L.J. Hautus: Conditions for robustness

The problem of robust stabilization is defined. The necessity of a topology and a metric for unstable systems is explained. Two known definitions, the graph topology and the gap topology, are presented and compared. It is postulated what properties a natural topology should have, and it is shown that such a topology is unique. Since both the graph and the gap topology satisfy these properties, it is concluded that they are identical on their common domain. The gap topology turns out to be more general. Then corresponding metrics are considered and used to obtain various quantitative conditions for the presentation of stability under small perturbation of plant and compensator. This talk reports on joint work with S.Q. Zhu and C. Praagman.

A. Isidori: Nonlinear noninteracting control with stability

If a nonlinear system can be rendered noninteractive by means of static state feedback, then the problem arises of when a solution exists which induces an internally asymptotically stable system (in the sense of Lyapunov). By means of the notion of controlled invariant distribution, it is shown that there is a submanifold of the state space which is left invariant by any feedback solving the noninteracting control problem. Moreover, the dynamics on this invariant submanifold are the same no matter what noninteracting feedback is used. Thus a necessary condition for noninteracting control with stability is that these dynamics be asymptotically stable. If the system (coupled) is stabilizable, then this condition is also sufficient, provided that dynamic feedback is used. A counterexample shows that this invariant manifold cannot be removed by means of dynamic extension, contrary to what is known to happen in a linear system. Thus, the stabi-

lity of the fixed dynamics is a necessary condition as well whenever (dynamic extension)-based feedback is used.

B. Jakubczyk: Feedback invariants and feedback linearizations of nonlinear control systems

We study invariants of feedback transformations and changes of coordinates of nonlinear control systems. Certain classes of such invariants are defined. The simplest invariants are given as dimensions of distributions spanned by Lie brackets of vector fields of the system. These invariants are sufficient to classify linear systems and characterize systems equivalent to linear systems (feedback linearization). They are generalizations of Brunovsky indices. Combined with a submanifold of equilibria of the system they may be used for a characterization of systems equivalent to systems with the linear part independent of the operating point. Finally, more sophisticated invariants are introduced and classifications of some classes of nonlinear systems nonequivalent to linear ones are given.

H.W. Knobloch: High-gain feedback: Some new mathematical and practical aspects

The lecture is concerned with new developments in the foundations of singular perturbation theory and its possible applications to control theory. The basic underlying result is a global version of the center-manifold theorem which is presented and commented. It allows to give a coordinate-free version of what is commonly referred to as a method for reducing the dimension of a system. The applications center around an asymptotic formula for the position of the state once a fixed but otherwise arbitrary static output feedback

law is applied. The formula offers itself as the starting point for attacking identification problems. This proposal has two interesting features:

- (i) It uses output measurement - and not state measurement.
- (ii) The main "trick" is the transformation to a new time-scale - which can be interpreted as output.

M. Köhne: Polynomische und adaptive Beobachter für spezielle Anwendungen

Dynamische Systeme der Populationsdynamik und spezielle schwingungsfähige mechanische Systeme lassen sich durch mathematische Modelle mit linearen, bilinearen und quadratischen Termen beschreiben. Für polynomische Systeme dieser Art werden Zustandsbeobachter vorgeschlagen, die auch als adaptive Beobachter für lineare Systeme einsetzbar sind, wenn außer Zustandsgrößen auch konstante, aber unbekannte Systemparameter geschätzt werden sollen. Die Konvergenz dieser Beobachter konnte bisher nur im Experiment (Versuchsaufbau) und anhand von Simulationsstudien gezeigt werden. Der Beweis globaler oder exponentieller Stabilität ist bisher nicht gelungen.

F. Kraus: Robust parameter estimates

The recursive parameter estimation methods are investigated. In order to estimate the parameters of slowly varying processes a forgetting mechanism must be incorporated in the estimation schemes. The ability of adaptation can be judged with the aid of the eigenvalues of the estimation matrix. A "wind-up" of the estimator occurs if the system is not sufficiently excited. Modified forgetting schemes are proposed. Contrary to the commonly used "time forgetting" a

"direction dependent" forgetting is introduced. To accelerate the adaptation both forgetting schemes are combined. A simplified version of this "combined forgetting" algorithm is also given. The computational burden is comparable with the commonly used estimation schemes.

G. Kreisselmeier: Self-excitation in adaptive control

For the adaptive control of a linear time-invariant system it is proposed to adaptively estimate both the parameters of the system and, independently, the parameters of the desired controller. The two parameter estimates are said to match if the estimated system together with the estimated controller gives the desired closed loop characteristic polynomial. If they do not match we have a mismatch error e . A nonlinear feedback, proportional to e , the signal level, and a modulating function, is then used to cause excitation in the system such that $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$. The result is an adaptive controller, which stabilizes and asymptotically regulates the output of any linear, time-invariant system which is controllable and observable, is of known order n and has unknown parameters. (joint work with M.C. Smith)

A. Kurzhanski: On some basic evolution equations of control theory

The solution of feedback control problems for linear systems with state and terminal constraints under set-membership uncertainty in the inputs and in the partial observations may be achieved by constructing some set-valued maps that are crucial for constructing the feedback control strategies. These set-valued maps may be treated as set-valued trajectory-

ries of some generalized dynamic systems governed by special types of "funnel equations". It is shown that for each of the above mentioned classes of problems there exists its own type of funnel equation. The approach given here allows a propagation to nonlinear systems. For example if one considers the tube of solutions to the system

$$\dot{x} \in F(t, x), \quad x(t) \in Y(t), \quad x(t_0) \in X^0, \quad t \in [t_0, t_1]$$

then under some convexity assumptions on F , Y and some continuity assumptions on $Y(t)$ the evolution equation for the tube

$X(t, t_0, X^0) = \chi(t)$ of respective solutions is

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} \sigma^{-1} h(\chi(t+\sigma), \bigcup_{x \in \chi(t)} (x + F(t, x)\sigma) \cap Y(t+\sigma)) = 0$$

where $h(\cdot)$ is the Hausdorff metric.

H. Kwakernaak: Polynomial methods in H_∞ -optimization of control systems

A review is given of the motivations for H_∞ -optimization of linear feedback systems: Stability, robustness, and frequency response shaping. An outline of the solution of the "Standard problem" by parametrization, transformation to Nehari form and application of the equalizer principle is presented. The pole cancellation problem inherent to this approach may be avoided by direct application of the equalizer approach without parametrization and transformation.

G. Leugering: Variable structure control of a flexible beam

A flexible beam is taken to satisfy a partial integro-differential equation modeling both short and long-term memory behaviour (Kelvin-Voigt and Boltzmann-type damping). A theory of controllability and stabilizability is given for boundary controls in $L_2(0, T)$ spaces. The method is general. Further some bilinear control laws are discussed guaranteeing robustness w.r.t. changes in the boundary conditions and damping coefficients.

J. Lückel: Die aktive Dämpfung von Fahrzeugschwingungen

Am Beispiel eines ebenen Fahrzeugmodells werden in Subsystemtechnik Modellbildung, Entwurf und Wirkung eines linearen Meßgrößenreglers dargestellt. Die eigentliche Regelstrecke, das Fahrzeug, wird dabei durch den Fahrzeugkörper als starre Masse, das vordere und hintere Federbein als parallele Feder-Dämpfersysteme zur Aufnahme der statischen Last, die eigentlichen Hydrauliksysteme zur dynamischen Beeinflussung der Schwingungen sowie einfache lineare Modelle der Reifendynamik beschrieben. Ergänzt wird das Fahrzeugmodell durch Anregungs- und Bewertungsmodelle. Der eigentliche Reglerentwurf erfolgt nach dem "instrumentellen Verfahren", einer numerischen Parameteroptimierung mit Vektorfunktional vom Pareto-Typ in drei Stufen. Die Wirkung des so entworfenen Reglers wird anhand von Zeitantworten und Spektren gezeigt.

M. Mansour: Robust stability of discrete systems

An overview of Kharitonov weak and strong theorems is given. In the weak theorem all the edges of a box parallel to the

axes in the coefficient space of a polynomial are needed to prove the stability of the whole set. For order 3,4,5, one, two and three edges are needed to prove stability. In the strong theorem only 4 edges are needed. For the discrete case, first low order polynomials are considered and necessary and sufficient conditions are obtained where only corners are considered to $n \leq 3$. For $n \geq 4$ supplementary points on the edges may be needed. A version of the Kharitonov weak theorem for discrete systems is derived where all the corners of a special box in the parameter space are needed. Two methods are used to get the analog of the Kharitonov strong theorem. It is shown that a part of the corners is necessary and sufficient for the stability of the whole set. This part has a number equal to 4 times a number of intervals which increases with the order of the system. The number of intervals is a sum of Euler functions. For a system of order 30, 576 corners are needed instead of 2^{31} corners which is a very large reduction w.r.t. the weak theorem.

P.C. Müller: Control of nonlinear systems by applying disturbance rejection control techniques

The objective of this contribution is to present a simple constructive procedure for the control system design of a certain class of nonlinear time-invariant multivariable systems applying the method of disturbance rejection control. For this, the time signals of the nonlinearities are interpreted as "external disturbances" which can be approximately characterized by a suitable linear model. Then disturbance rejection control technique is applied to the extended linear model ensuring partial asymptotic stability with respect to interesting variables of the original non-

linear control system. The details such as existence and computation of the feedback control are presented. The new design method is applied to design a highly accurate position control of an elastic industrial robot which is effected by nonlinear Coulomb friction within the electric drives.

A. Munack: Parameter estimation for weakly identifiable nonlinear systems

System parameters of dynamical systems often prove to be practically unidentifiable by fixed experiments; as an example for this statement the simple Monod model for growth of microorganisms is presented. In order to identify these parameters, optimized experiments must be carried out. The information content of a set of measurement data can be evaluated by computation of the Fisher information matrix, and a functional of this matrix may be optimized in order to find optimal experimental conditions, i.e. optimal input functions for the system. However, the information matrix gives only a local measure for the information. This leads to the fact, that optimal experiments can only be designed for systems with known parameters. A possible way to overcome this restriction is the formulation of an adaptive parameter estimator, where the future input to the system is computed with the aim to maximize the information contained in the past and forthcoming measurement data, given the actual identified system parameters. Together with system parameter identifications this computation is carried out iteratively during the experiment. For rapid computation, a gradient method is used, where the gradient is calculated by means of the adjoint system.

H. Nijmeijer: Decoupling in nonlinear systems: nonlinear and approximate linear solutions

A standard approach for dealing with synthesis problems in nonlinear control systems consists of linearizing the nonlinear system around a specific working point and then solving the synthesis problem for the obtained linear system. To what extent the resulting linear controller is a good approximate solution for the nonlinear problem is of course questionable. In this presentation we discuss as an example the input-output decoupling problem. It is shown that under fairly general conditions the solvability requirements for the nonlinear and the corresponding linear problem are the same. Furthermore we characterize those linear solutions which are "first order" solutions for the nonlinear problem.

H. Nour-Eldin: Nonlinear Observer and partial state feedback for robust voltage control of synchron generators

Voltage control of synchronous generators in electrical power networks is an essential factor for network transient stability. The classical voltage control, which is essentially a proportional control, shows satisfactory operational behaviour only for the quasistationary operation. For the transient behaviour, robust reaction of the voltage control is required. The main objective is a short and nonoscillatory reaction under moment-, network voltage-, as well as network reactance disturbances. For this purpose, the state behaviour of the generator should be estimated and these state components that are essential for feedback should be adopted. The nonlinear observer proposed will guarantee such transient response of the estimated state to

measured as well as unmeasured disturbances. Knowing the characteristic behaviour of the synchronous generator, the nonlinear observer is designed in two stages. In the first stage, the feedback for the electrical part of the observer is adjusted by pole placement of the linear electrical part. For the mechanical behaviour, the feedback is adjusted through simulation. The resulting nonlinear observer shows a robust state estimation under up to $\pm 40\%$ network voltage disturbance, $\pm 30\%$ network impedance disturbance and up to 100% moment disturbance. The partial state feedback which is mainly used for better disturbance transient behaviour improvement, is added to the conventional proportional controller. The resulting compensator retains the robust behaviour of the observer in the closed loop.

G.J. Olsder: Stochastic Discrete Event Systems

The discrete event dynamic systems (DEDS) we consider are linear in the max-algebra. Many problems, such as material flows in production processes, are nonlinear in the conventional arithmetics but are linear in the max-algebra. We consider stochastic extensions of the existing deterministic theory. The motivation is that in practice processing and/or transportation times are often stochastic quantities (due to for instance machine depreciation). First it is assumed that the probability distributions of the uncertain factors are continuous. The asymptotic behaviour of the system is investigated and in particular the average duration of one cycle of the process is calculated. Explicit results have been obtained for exponential distributions. Secondly we deal with discrete probability distributions. The problem is now transformed into a Markov-chain and results comparable to those of the continuous distributions have been obtained.

F. Rampazzo: On the input-output behaviour of Lagrangean systems with some coordinates as controls

First, some results on the continuity of the input-output map $\Phi : u \rightarrow x(u, \cdot)$ associated to the differential system

$$(*) \quad \dot{x} = f(x) + \sum_{i=1}^m g_i(x) u^i$$

are presented.

Secondly, a mechanical application is presented where some of the state coordinates are considered as inputs. The differential system arising from this approach contains the derivative u of the control on the right-hand side. Now, on the one hand some physical considerations lead to the requirement that the solutions should be continuous (e.g. with respect to the C^0 -norms) as functions of the controls. On the other hand, it was shown that such continuity occurs if and only if the derivative of the control appears linearly, as in (*). It is demonstrated that this is not the general case and that only a suitable choice of the coordinates permits the above requirement to be satisfied. Moreover, such kind of coordinates, in the case of vector valued controls, are shown to exist if and only if the constraint manifold can be foliated in a bundle-like way, with respect to the metric induced by the kinetic energy.

H. Schwarz: Bilinearisierung hydraulischer Antriebe

Hydraulische Antriebe haben ein ausgeprägtes nichtlineares Verhalten, das bei der Auslegung von Reglern vielfach berücksichtigt werden muß. Es hat sich gezeigt, daß durch bilineare Approximationen wesentliche nichtlineare Effekte erfaßt werden können, so daß geeignete Regler in geschlossener Form ausgelegt werden können.

Nach einer kurzen Einführung der Systemgleichungen bilinearer Systeme und der Motivation zur "Bilinearisierung" statt Linearisierung nichtlinearer Systemgleichungen, wurde das dynamische Verhalten translatorischer und vor allem auch rotatorischer hydraulischer Antriebe dargestellt. Beim Vergleich gemessener Sprungantworten dieser Systeme mit denen von bilinearen Approximationen konnte die sehr gute Übereinstimmung nachgewiesen werden.

Ferner wurde kurz über ein neuartiges on-line Systemidentifikationsverfahren für bilineare Systeme berichtet, bei dem mittels geeigneter Impulserregungen die mehrfach indizierten Markovparameter bilinearer Systeme gemessen werden können. Aus den Markovparametern werden Zustandsmodelle realisiert.

H.T. Sussmann: Learning algorithms for neural networks

Consider a Boltzmann machine with N neurons. Let Π^* be a Gibbs measure on the configuration space $\Omega = \{-1, 1\}^N$, so $\Pi^*(\sigma) = Z(w^*)^{-1} \sum w_{ij}^* \sigma_i \sigma_j$, for some set W^* of real numbers (the "weights"). A heuristic argument has been suggested by several authors, according to which the machine could "learn" to produce the measure Π^* as its equilibrium behaviour by using the following algorithm: alternate between time intervals of length v during which the net "learns", and intervals of length v during which it "hallucinates". During a "learning" interval, independent samples $\sigma^1, \dots, \sigma^v$ of the distribution Π^* are presented to the net, and the weights are adjusted continuously according to $\dot{w}_{ij}(t) = \delta \sigma_i^k \sigma_j^k$ for $k \leq t < k+1$. During a "hallucinating" interval, the net evolves following its own dynamics, and adjustment proceeds via $\dot{w}_{ij}(t) = -\delta \sigma_i(t) \sigma_j(t)$. (Here $\delta > 0$ is a fixed constant). We give a rigorous proof that, by suitably choosing v and δ , the algorithm can be made to obtain an arbitrarily small neighborhood of w^* with

probability arbitrarily close to 1. An extension of this result to more general measures Π^* (not necessarily Gibbs) is also valid, but now the net has to have "hidden neurons".

J.C. Willems: Controllability and observability in a new perspective

Let $\Sigma = (T, W, \mathcal{B})$ be a dynamical system: $T \subseteq \mathbb{R}$; W a set; and $\mathcal{B} \subseteq W^T$. Assume that it is time-invariant: $T = \mathbb{R}$ or \mathbb{Z} and $\sigma^t \mathcal{B} = \mathcal{B}$; σ^t : the t -shift. We assume that Σ is time-invariant. Σ is said to be controllable if $\forall w_1, w_2 \in \mathcal{B}$, $\exists t \in T, t \geq 0$, and $\exists w: [0, t] \rightarrow W$ such that $w_1 \wedge w \wedge \sigma^{-t} w_2 \in \mathcal{B}$. The problem now is to find conditions of the behavioural equations such that the defining system is controllable. In difference equations $R(\sigma)w = 0$ ($T = \mathbb{Z}$, $W = \mathbb{R}^q$, and $\mathcal{B} = \ker R(\sigma)$, R a polynomial matrix; $R(s) \in \mathbb{R}^{q \times q} [s]$) or differential equations $R(\frac{d}{dt})w = 0$ ($\mathcal{B} = L_1^k$ -kernel of $R(\frac{d}{dt})$) explicit conditions for controllability can be derived:

$$\text{rank } R(\lambda) = \text{const} \quad \forall \lambda \neq \lambda \in \mathbb{C} \quad (\text{discrete time})$$
$$\text{rank } R(\lambda) = \text{const} \quad \forall \lambda \in \mathbb{C} \quad (\text{continuous time}).$$

Berichter: A. Munack

Tagungsteilnehmer

Prof.Dr. J. Ackermann
Institut für Dynamik der
Flugsysteme
DFVLR

8031 Weßling

Prof.Dr. D. Franke
Fachbereich Elektrotechnik
- Regelungstechnik -
Universität der Bundeswehr
Holstenhofweg 85

2000 Hamburg 70

Prof.Dr. S. M. Aseev
Steklov Mathematical Institute
Academy of Sciences of the USSR
42, Vavilova str.

Moscow 117 966 GSP-1
USSR

Prof.Dr. M. L. J. Hautus
Department of Mathematical Physics
and Mechanics
Technical University Eindhoven
Postbus 513

NL-5600 MB Eindhoven

Prof.Dr. C. I. Byrnes
Dept. of Electrical and Computer
Engineering
Arizona State University

Tempe , AZ 85287-1804
USA

Prof.Dr. E. Hofer
Regelungstechnik und Systemdynamik
Technische Universität
Hamburg-Harburg
Eißendorfer Str. 40

2100 Hamburg 90

Prof.Dr. N. Dourdoumas
Theorie der Automatisierungssysteme
Fachbereich 14
Gesamthochschule Paderborn
Postfach 1621

4790 Paderborn

Prof.Dr. A. Isidori
Dipartimento di Informatica
Universita di Roma
Via Eudossiana 18.

I-00184 Roma

Prof.Dr. M. Fliess
Laboratoire des Signaux & Sytemes
Ecole Superieure d'Electricite
CNRS
Plateau du Moulon

F-91190 Gif-sur-Yvette

Dr. B. Jakubczyk
Institute of Mathematics of the
Polish Academy of Sciences
ul. Sniadeckich 8

00-950 Warszawa
POLAND

Prof.Dr. H.W. Knobloch
Mathematisches Institut
der Universität Würzburg
Am Hubland 12

8700 Würzburg

Prof.Dr. H. Kwakernaak
Department of Applied Mathematics
Twente University
P.O.Box 217

NL-7500 AE Enschede

Prof.Dr. M. Köhne
Meß- und Regelungstechnik
Fachbereich Maschinentechnik
Universität Gesamthochschule Siegen
Postfach 10 12 40

5900 Siegen

Dr. G. Leugering
Fachbereich Mathematik
der TH Darmstadt
Schloßgartenstr. 7

6100 Darmstadt

Dr. F. Kraus
Institut für Automatik
ETH-Zentrum

CH-8092 Zürich

Prof.Dr. G. Ludyk
Institut für
Automatisierungstechnik
Universität Bremen
Kufsteinstr.

2800 Bremen 33

Prof.Dr. G. Kreisselmeier
Regelungs- und Systemtheorie
Fachbereich 16 Elektrotechnik
Gesamthochschule Kassel
Postfach 101 380

3500 Kassel

Prof.Dr. J. Lückel
FB 10 Maschinentechnik
Gesamthochschule Paderborn
Pohlweg 55

4790 Paderborn

Prof.Dr. A. B. Kurzhanski
IIASA International Institute for
Applied Systems Analysis
Schlossplatz 1

A-2361 Laxenburg

Prof.Dr. M. Mansour
Institut für Automatik
ETH-Zentrum

CH-8092 Zürich

Prof.Dr. P. C. Müller
Sicherheitstechnische Regelungs-
und Meßtechnik
Bergische Universität/GH Wuppertal
Gaußstr. 20

5600 Wuppertal 1

Prof.Dr. G. J. Olsder
Dept. of Mathematics and
Computer Science
Delft University of Technology
P. O. Box 356

NL-2600 AJ Delft

Prof.Dr. A. Munack
Regelungstechnik und Systemdynamik
Technische Universität
Hamburg-Harburg
Eißendorfer Str. 40

2100 Hamburg 90

Prof.Dr. Rampacco
Dipartimento di Scienze Matematiche
Universita di Trieste
Piazzale Europa 1

I-34127 Trieste (TS)

J. Neuhaus
Kochstr. 18
4100 Duisburg 12

Prof.Dr. G. Schneider
Institut für Regelungstechnik der
Technischen Universität
Krenngasse 37

A-8010 Graz

Dr. H. Nijmeijer
Department of Applied Mathematics
Twente University
P.O.Box 217

NL-7500 AE Enschede

Prof.Dr. H. Schwarz
Fachbereich 7 Maschinenbau
Meß- Steuer- und Regelungstechnik
Universität Duisburg
Postfach 101629

4100 Duisburg 1

Prof.Dr. H. A. Nour-Eldin
Automatisierungstechnik, Regelungs-
technik, Technische Kybernetik
Gesamthochschule Wuppertal
Fuhlrottstr. 10

5600 Wuppertal

Prof.Dr. H. J. Sussmann
Dept. of Mathematics
Rutgers University
Busch Campus, Hill Center

New Brunswick , NJ 08903
USA

Prof.Dr. M. Thoma
Institut für Regelungstechnik
Universität Hannover
Appelstr. 11

3000 Hannover 1

Prof.Dr. I. Troch
Inst. f. Analysis, Technische
Mathematik u. Versicherungsmathem.
Technische Universität Wien
Wiedner Hauptstr. 8 - 10/114

A-1040 Wien

Prof.Dr. J. C. Willems
Mathematisch Instituut
Rijksuniversiteit te Groningen
Postbus 800

NL-9700 AV Groningen

Yang Xiaojing
Fakultät für Mathematik
Universität Würzburg
Am Hubland

8700 Würzburg

Prof.Dr. M. Zeitz
Institut für Systemdynamik und
Regelungstechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9

7000 Stuttgart 80