

Mathematisches Institut
Oberwolfach
E 20 101793

MATHEMATISCHES FORSCHUNGSINSTITUT OBERWOLFACH

Tagungsbericht 9/1982

Regelungstheorie

28.2. bis 6.3.1982

Wie in den vergangenen Jahren wurde auch die diesjährige Tagung über Regelungstheorie gemeinsam von M. Thoma (Hannover) und H.W. Knobloch (Würzburg) geleitet.

Die bei der Tagung 1980 erstmals eingeführten Übersichtsvorträge hatten große Zustimmung bei den Teilnehmern gefunden. Daher waren auch diesmal zwei international besonders ausgewiesene Referenten gebeten worden, über den aktuellen Stand und weitere Entwicklungen auf den beiden Schwerpunkthemen "Mehrgrößenregelungssysteme" und "Systeme mit verteilten Parametern" zu berichten.

So referierte A.G.J. MacFarlane über Frequenzbereichsmethoden zur Untersuchung und Synthese von Mehrgrößenregelungssystemen, wobei er auch Verbindungen zum "Geometrical Approach" aufzeigte.

Eine Anzahl von Einzelvorträgen waren ebenfalls der Untersuchung von Mehrgrößen-systemen gewidmet. So standen effiziente Methoden für ein interaktives Design von Regelungssystemen mit vorgegebenen Gebieten für die Lage der Pole des geschlossenen Kreises im Mittelpunkt eines Vortrages. Das Problem der Robustheit und der Sensitivität wurde auch in einem weiteren Vortrag behandelt, wobei eine insbesondere bei der Untersuchung von Nicht-Minimalphasensystemen interessante Systemgröße, das Regelbarkeitsmaß ('Regulability'), definiert und untersucht wurde. Zwei Vorträge beschäftigten sich mit den Eigenschaften von Beobachtern; einerseits handelte es sich dabei um die Konstruktion derartiger Algorithmen für Fälle, in denen die Systemeingangsgrößen nur unvollständig bekannt sind, während der andere Vortrag auf den Grenzübergang von Beobachtern zum Differenzierer einging sowie den dualen Fall der unendlich schnell einschwingenden Zustandsregelung untersuchte. Der für die Behandlung komplexer Mehrgrößen-systeme wichtige Aspekt der Ordnungsreduktion wurde ebenfalls diskutiert, wobei algebraische Verfahren Ziel der Untersuchungen waren und insbesondere Vergleiche mit der bekannten Ketten-

bruchentwicklung durchgeführt wurden. - Zwei direkt aus praktischen Problemstellungen entstandene Arbeiten wurden ebenfalls vorgestellt; so berichtete ein Vortragender über Erfahrungen mit unterschiedlichen Verfahren des Mehrgrößenregelungsentwurfs anhand eines Kraftfahrzeugprüfstands, und ein anderer Tagungsteilnehmer referierte über Filterungs- und Optimierungsprobleme bei Peilungen, wobei ebene Trajektorien zugrundegelegt waren.

J.L. Lions stellte in seinem Übersichtsvortrag über Optimierungsprobleme bei Systemen mit verteilten Parametern die klassischen Ergebnisse dar und berichtete über neue Untersuchungen der Fälle, in denen einige der beim Standardproblem vorliegenden Voraussetzungen nicht erfüllt sind.

Vier weitere Einzelvorträge lassen sich diesem Themenkomplex zuordnen. Dabei wurden einmal Lösungen für das Problem der zeitminimalen Dämpfung von Schwingungen bei Steuerung über den Rand mit Stellgrößenbeschränkungen angegeben; ein anderer Vortragender behandelte das Problem der Identifikation unbekannter Systemparameter, wobei nach der Angabe eines geeigneten Approximationsverfahrens unter bestimmten Voraussetzungen die Konvergenz des Algorithmus gegen die Systemparameter gezeigt werden konnte. Parameteridentifikationen standen ebenfalls im Mittelpunkt eines Vortrags, der sich mit der Anwendung von Dekompositionsmethoden auf gekoppelte Systeme mit verteilten Parametern beschäftigte. Schließlich waren auch Entwurf und Untersuchung von Regelungen mit Begrenzungen unter Verwendung von strukturvariablen Reglern mit Hilfe der Ljapunov-Theorie Gegenstand einer weiteren Arbeit.

Aus dem Bereich der Regelungssysteme mit Beschränkungen wurde noch ein weiterer Vortrag gehalten, wobei Restriktionen hinsichtlich der Änderungsgeschwindigkeit des Führungssignals Berücksichtigung fanden.

Untersuchungen der Stabilität von Systemen standen, wie auch auf früheren Tagungen, wieder im Mittelpunkt einiger Arbeiten. So wurde ausgehend von der Beobachtung, daß bei nichtlinearen Differentialgleichungen mit gleichmäßig asymptotischer Stabilität der Ruhelage die zugehörige Empfindlichkeitsgleichung instabil sein kann, eine Abschätzung für das asymptotische Verhalten der Lösungen dieser Gleichungen angegeben. Ferner berichtete ein Vortragender über eine notwendige und hinreichende Bedingung für die Stabilisierbarkeit zeitvariabler Systeme, die eine exponentielle Dychotomie aufweisen. Eine weitere Arbeit zu dieser Thematik befaßte sich mit der Stabilität von Totzeitsystemen, wobei diese als zweidimensionale Systeme behandelt wurden.

Optimierungsmethoden wurden in einer Vielzahl von Vorträgen angesprochen; sie bildeten jedoch nur bei relativ wenigen Arbeiten das Hauptthema. So wurde eine notwendige und hinreichende Bedingung dafür angegeben, daß die Lösung der Riccati-Differentialgleichung beim linear-quadratischen Regelungsproblem für $T \rightarrow \infty$ gegen die Lösung der algebraischen Riccati-Gleichung konvergiert. Optimale Steuerungen für nichtlineare Systeme, die sich sowohl aus 'bang-bang'-Stücken als auch aus singulären Teilelementen zusammensetzen, waren Gegenstand eines weiteren Vortrags. Bei diesen Untersuchungen spielte die Theorie der subanalytischen Mengen eine Schlüsselrolle. - Fragen der Eindeutigkeit waren von besonderem Interesse bei der Untersuchung der Van der Weel-Gleichgewichtsbedingung bei Differentialspielen, über die ein weiterer Vortragender berichtete.

Auf eine neue generelle Methode zur Konstruktion kanonischer Formen wurde ebenfalls eingegangen. Neben bekannten kanonischen Formen für Matrizen und Matrizenpaare konnten damit neue Formen entwickelt werden, die zur Untersuchung der Topologie der Systemräume dienen können.

Während der Tagung wurden zwei Filme gezeigt, die - jeder auf seine Art - beeindruckende Resultate präsentierten. Der erste Film (Vossius) handelte von der funktionellen Stimulation bei Querschnittsgelähmten. In dem sich anschließenden Vortrag wurden neben den dabei auftretenden komplizierten Modellierungs- und Regelungsproblemen auch die psychischen Aspekte behandelt. Der zweite Film (Mansour) zeigte den Aufbau und die erzielten Regelungsergebnisse bei einem Doppelpendel-Laborexperiment. Die mit einem Beobachter arbeitende Regelung erlaubt den Betrieb in allen vier Gleichgewichtslagen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die gehaltenen Vorträge einerseits eine deutliche Häufung in den beiden Tagungsschwerpunkten erkennen ließen andererseits aber trotzdem noch einen guten Querschnitt durch die zur Zeit aktuellen Forschungsgebiete der Regelungstheorie boten. Wie auch bei früheren Tagungen beschäftigten sich etwa ein Viertel der Vorträge mit Themen, die aus Untersuchungen konkreter technischer Fragestellungen hervorgegangen waren. Das damit gebotene Spektrum an aktuellen technischen Problemstellungen und modernen mathematischen Verfahren hat sicherlich wieder gleichermaßen bei den teilnehmenden Mathematikern als auch den Ingenieuren Anklang gefunden.

Ein auf der diesjährigen Tagung etwas unterrepräsentierter Bereich umfaßt die nichtlinearen Systeme. Dieser, sowohl in den Anwendungen äußerst interessante als auch bezüglich der theoretischen Untersuchung noch lange nicht erschöpfte Bereich könnte einen Schwerpunkt zukünftiger Tagungen bilden. Ein weiteres Gebiet, das sich zur Zeit in intensiver Bearbeitung befindet, ist die Theorie der Regelung komplexer Systeme. Hier sind einerseits neue mathematische Verfahren zu entwickeln und anzuwenden, andererseits liegen auch in der Praxis eine Fülle von zu lösenden Problemstellungen vor.

Viele der zukünftigen Aufgaben in Technik und Gesellschaft werden bei ihrer Lösung ein umfassendes Systemdenken und ein tiefes Verständnis komplexer Strukturen erfordern. Die Oberwolfacher Tagungen über Regelungstheorie haben bereits in der Vergangenheit dazu beigetragen, dieses Systemdenken zu fördern. Als besonders wertvoll und fruchtbar hat sich dabei stets die interdisziplinäre Zusammenarbeit und Diskussion zwischen Mathematikern und theoretisch interessierten Ingenieuren erwiesen. So hat nach übereinstimmender Meinung der Teilnehmer auch diese Tagung eine Fülle von Impulsen gegeben, einerseits hinsichtlich weiterer theoretischer Untersuchungen, und zum anderen auch für Möglichkeiten zur Anwendung neuer theoretischer Ergebnisse.

Vortragsauszüge

J.L. Lions: Remarks on the optimal control of distributed systems

A state equation $A(z) = B(v)$, (1), is considered. A is a *partial differential operator* (linear or nonlinear, stationary or of evolution type); (1) is a formal way of writing a boundary value problem: to (1) one should add *boundary conditions* and, if A is of evolution type, one should also add *initial conditions*. In (1), v denotes the *control variable* (it can be a distributed control, a boundary control, a pointwise control, etc.).

We shall say that (H1) holds true iff (1) admits a unique solution in a Banach space Y , when v belongs to a Banach space U .

Implicitly in (H1) we assume that v belongs to a Banach space U ; we shall denote this property by (H2).

Assuming (H1), we denote by $y(v)$ the solution of (1). We consider next the cost function $J(v) = \phi(y(v)) + \psi(\|v\|)$, where $\|\cdot\|$ denotes the norm in U and where ψ maps $\mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$, such that $\psi(\lambda) \rightarrow +\infty$ as $\lambda \rightarrow +\infty$. We shall say that (H3) holds true when ϕ maps $Y \rightarrow \mathbb{R}$.

Finally we shall say that (H4) holds true if $v \rightarrow J(v)$ is differentiable.

The classical situation corresponds to the case when (H1)...(H4) hold true. After the well-known linear-quadratic case a nonlinear example is considered. It is shown, that - similar to the linear-quadratic case - there exists an *optimality system* which directly leads to computational algorithms for minimization of the cost functional. The optimal control, however, may possibly be non unique.

In the lecture, several examples are given in which one of the hypotheses (H1) ... (H4) is not valid. So in problems of *optimum design*, where the control variable is a domain, (H2) does not take place. Also isoperimetric problems enter in this category. - Examples where (H4) does not hold are to be found in the *optimal control of free surfaces*. Practical examples arise for instance in the study of melting operations. - In control of *biochemical systems* one sometimes is led to cases where (H1) does not hold true. A simple example is treated in the lecture, which may admit an infinite number of solutions.

Nevertheless, it is possible to show that there exists an optimality system which allows to minimize the cost functional. Other types of problems in this category are control problems for *unstable systems*. - In the lecture, detailed bibliographical references were given for the corresponding examples each.

A.G.J. MacFarlane: Generalized Frequency-Response Methods for
Feedback Analysis and Design

Recent work has led to a fairly complete picture of the way in which classical frequency-response methods, based on complex function theory, can be generalized to the multivariable case. Furthermore, this generalization leads to useful design methods. The lecture was organised under the following headings: (1) Design (2) Feedback (3) Gains, Phases and Angles (4) Curves (5) Subspaces (6) Applications.

1) Design: The role of the computer in design was discussed and the need for a designer to have a suitable conceptual framework was emphasized. The chosen route is to develop a conceptual framework based on geometrical and topological ideas.

2) Feedback: The role of complex function theory in classical feedback theory was briefly surveyed, with special emphasis on the exploitation of the relationships between gain and phase.

3) Gains, Phases and Angles: Characteristic, Singular-Value and Polar Decompositions were discussed for operator-valued functions of a complex-variable. It was explained how, in order to appropriately handle Stability, Performance and Robustness, it is necessary to use both characteristic and singular-value decompositions of loop-gain operators. The role of normality in robustness was especially emphasised.

4) Curves: The use of (elementary) algebraic geometry in stability theory was explained, using Riemann surfaces as appropriate concrete representations of algebraic curves. The way in which both generalized Nyquist diagrams and generalized root-locus diagrams are related to a single algebraic curve was explained. Using the fact that such a simple algebraic curve can be represented in terms of an analytic (gain) function defined on a compact manifold, it was stated that the classical Bode gain-phase relationships could be extended to the multivariable case (using generalized Bode diagrams).

5) Subspaces: The linear geometry relating certain key subspaces of a state-space, associated with the standard differential-equation model of a dynamical system, was used to characterise the basic structural parameters of the algebraic curves previously introduced. This gives a useful link to physical model parameters.

6) Applications: Finally the use of the techniques and concepts introduced was discussed using some simple example systems based on real industrial model data.

J. Ackermann: Rechner-Grafik für den Entwurf robuster Regelungssysteme

Beim rechnerunterstützten Entwurf von Regelungssystemen ist man an einer grafischen Darstellung wesentlicher Systemeigenschaften interessiert. Untersucht wird hier die Eigenschaft, daß alle Eigenwerte des Regelkreises in einem vorgegebenen Gebiet Γ -begrenzt durch $\partial\Gamma$ - liegen sollen. Diese Forderung wird zunächst durch das entsprechende Gebiet P_Γ im Raum der Koeffizienten des charakteristischen Polynoms dargestellt. P_Γ ist für jeden reellen Wert von $\partial\Gamma$ durch eine Hyperebene und für komplexe Werte auf $\partial\Gamma$ durch eine Hyperfläche begrenzt. Durch eine gegebene Regelstrecke wird P_Γ affin abgebildet in ein Gebiet K_Γ im Raum der Reglerparameter. Soll ein gemeinsamer Regler für eine Familie von Regelstrecken berechnet werden, so wird der Schnitt der zugehörigen Gebiete K_{Γ_i} gesucht. Man kann das Schnittgebiet durch Rechnergrafik in zweidimensionalen Schnittebenen untersuchen.

N. Dourdoumas: Rechnergestützter exakter Entwurf von Systemen mit Begrenzungen

Es wird eine Methode zum Entwurf kontinuierlicher (bzw. diskreter) Regelkreise angegeben. Das Ziel ist es, einen linearen Regler zu entwerfen, so daß Systemgrößen des geschlossenen Kreises wie z.B. Regelabweichung, Stellgröße oder gewisse Zustandsvariablen des zu regelnden Objektes beim Betrieb dem Betrage nach vorgegebene Schranken nicht überschreiten. Hierbei geht man davon aus, daß die Führungsgröße gewisse Eigenschaften, z.B. beschränkte Änderungsgeschwindigkeit, hat. Es zeigt sich, daß der Reglerentwurf anhand "Integralrelationen" im Zeitbereich vollführt werden kann. Diese können nur rechnergestützt gelöst werden. Durch Umwandlung des regelungstechnischen Problems in ein Optimierungsproblem wird derjenige Regler ermittelt, der die gestellten Spezifikationen erfüllt und zu einer minimalen Regelabweichung führt.

D. Franke: Weiche strukturvariable Regelung mit Begrenzungen

Für lineare, zeitinvariante Mehrgrößensysteme mit konzentrierten oder verteilten Parametern wird ein strukturvariabler Regler vorgeschlagen, der Gleitzustände ausschließt und einen weichen Stellverlauf erzeugt. Im Unterschied zu bekannten Arbeiten werden die Reglerparameter nicht umgeschaltet, sondern stetig über dynamische Glieder verändert. Mit der Direkten Methode von Ljapunov werden hinreichende Kriterien für die global asymptotische Stabilität des nichtlinearen Gesamtsystems hergeleitet. Die vorhandenen Freiheitsgrade werden genutzt, um vorgegebene Stellgrößenbeschränkungen nicht nur sicher einzuhalten, sondern auch voll auszuschöpfen.

M.L.J. Hautus: Strong Detectability and Observers

The problem is considered of constructing an observer that estimates an output variable z based on a different output variable y and partial knowledge of the input. Various conditions for the existence of such an observer are given. Essential differences between the continuous-time and discrete-time case are pointed out. The problem is specialized to the case where $z = x$, the state of the system. It turns out that strong detectability conditions are important for the existence questions. Intuitively, for the existence of a state observer, based on the output alone, two conditions have to be satisfied:

- i) A minimum phase condition: No zeros in the right half plane
- ii) A condition indicating that the system has at most one integration, i.e. at most one zero at infinity.

For single-variable systems this result is immediate.

D. Hinrichsen: Canonical forms and spaces of linear systems

We begin with the description of a general procedure to construct canonical forms for various group actions on sets of matrices, resp. matrix pairs. The canonical forms which can be constructed by this method comprise the following examples: echelon form and Jordan canonical form for single matrices, the Popov, Hermite and Brunovsky canonical forms for reachable pairs. Next we apply this construction procedure to derive a Jordan

canonical form for the similarity action on the space $\mathbb{C}^{n \times n} \times \mathbb{C}^{n \times m}$ of arbitrary input pairs (A, B) . Finally we show how canonical forms can be used to investigate the topology of the orbit spaces. In particular we compute the homology groups of the space $\mathcal{R}_{n,m}/\text{Gl}(n, \mathbb{C})$ where $\mathcal{R}_{n,m}$ denotes the space of reachable input pairs (A, B) .

G. Kern: Zum Stabilisierungsproblem von linearen zeitvariablen Systemen

Für das lineare zeitvariable System $\dot{x} = A(t)x + B(t)u$, $x \in \mathbb{R}^n$, $u \in \mathbb{R}^m$, wird das Stabilisierungsproblem unter der Voraussetzung betrachtet, daß das System nicht vollständig steuerbar ist. Für das ungerichtete System wird die Voraussetzung getroffen, daß es eine exponentielle Dychotomie besitzt. Unter dieser Voraussetzung ist eine notwendige und hinreichende Bedingung für die Stabilisierbarkeit, daß es keine nichttriviale stabile Lösung des adjungierten Systems $\dot{y} = -A^T(t)y$ gibt, für die $y^T(t)B(t)$ äquivalent dem Nullvektor ist. Die Notwendigkeit der Bedingung ist nicht an die Einschränkung der Existenz einer exp. Dychotomie gebunden. Weiter wird ein testbares Kriterium für die Stabilisierbarkeit angegeben. Dazu müssen Bedingungen an die Matrizenfunktion $A(t)$ gestellt werden, die eine exp. Dychotomie garantieren.

Das System ist dann stabilisierbar, wenn der $\text{Rg}[R_0(t), R_1(t), \dots, R_{n-1}(t)] = u$ -k \forall Teilintervalle von $[t_0, t_1]$ ist, wobei $R_0(t) = (I-P)B(t)$, $R_{k+1}(t) = -A(t)R_k(t) + \dot{R}_k(t)$ und P die Projektionsmatrix ist.

H. Kiendl: Ein algebraisches Verfahren zur Ordnungsreduktion von zeitinvarianten Einfach- und Mehrfachsystemen

Es wird ein algebraisches Verfahren beschrieben, mit dem es möglich ist, zu einer vorgegebenen Übertragungsfunktion $G(s) = Z(s)/N(s)$ eine "reduzierte Übertragungsfunktion" $\tilde{G}(s) = P(s)/Q(s)$ zu bestimmen, die $G(s)$ im Sinne ähnlicher Sprungantworten "dynamisch ähnlich" ist. Das Verfahren basiert auf der Forderung, daß die Koeffizienten h_i des Polynoms $H(s) = Z(\hat{s})Q(s) - N(s)P(s)$ im Mittel möglichst gut verschwinden sollen bzw. auf der Forderung, daß im Mittel möglichst gut $H(s_i) \approx 0$ für gewisse Stützstellen s_i gelten soll. Beide Forderungen laufen auf dasselbe Ordnungsreduktionsverfahren hinaus. Zum Erreichen einer für alle Übertragungsfunktionen $G(s)$ "gleichmäßig guten" dynamischen Ähnlichkeit zwischen $G(s)$ und $\tilde{G}(s)$ wird

eine in dem Verfahren noch wählbare Gewichtsmatrix so festgelegt, daß sie gewisse Invarianzeigenschaften erfüllt. Man kann zeigen, daß das vorliegende Verfahren das bekannte Ordnungsreduktionsverfahren auf der Basis der Kettenbruchzerlegung sowie das Verfahren von Levy als Spezialfälle enthält und - wie Beispiele zeigen - eine bessere dynamische Ähnlichkeit liefert. Das Verfahren ist erweiterbar auf den Fall von Mehrgrößensystemen in Zustandsdarstellung.

W. Krabs: Über zeitminimale Dämpfung von Schwingungen

Betrachtet werden räumlich eindimensionale schwingende Systeme endlicher Ausdehnung, wie z.B. die schwingende Saite oder der schwingende Balken, bei denen durch Steuerung eine Randbedingung am rechten Ende beeinflußt wird. Unter gewissen Voraussetzungen an die Eigenschwingungen des Systems wird gezeigt, daß in einem genügend großen Zeitintervall jeder Anfangsschwingungszustand aus einer geeigneten Klasse solcher in die Ruhelage übergeführt werden kann. Weiterhin wird gezeigt, daß, wenn dies mit einheitlich L_2 -beschränkten Steuerungen möglich ist, dasselbe auch in einem minimalen Zeitintervall möglich ist und jede zeitminimale Steuerung auf diesem Intervall eine minimale L_2 -Norm hat, die mit der vorgeschriebenen Schranke übereinstimmt.

K. Kunisch: Parameteridentifikation bei Systemen mit verteilten Parametern

Wir untersuchen das Problem, unbekannte Größen in Systemen mit verteilten Parametern aus vorhandenen Beobachtungen des Systems zu rekonstruieren. Dieses Parameteridentifikationsproblem wird als Optimierungsproblem formuliert. Ein allgemeines Schema zur Approximation des Parameteridentifikationsproblems wird erläutert und dessen Konvergenz mit funktionalanalytischen Methoden bewiesen. Dieses Approximationsschema erlaubt es insbesondere, Spline- und Eigenraumapproximationsverfahren zur Näherung von Parametern in partiellen Differentialgleichungen in einem mathematisch exakten Rahmen zu behandeln. Die theoretischen Ergebnisse werden durch eine große Anzahl von Beispielen für sowohl parabolische als auch hyperbolische partielle Differentialgleichungen ergänzt.

H. Kwakernaak: Optimal insensitivity and robustness

For a single-input single-output linear time-invariant closed-loop system, two indices are defined. The insensitivity index is an absolute lower bound on the worst-case disturbance sensitivity of the control system. The robustness index on the other hand is an absolute lower bound on the worst-case stability robustness of the closed-loop system to plant perturbations. The insensitivity and robustness indices are related to the plant pole and zero locations. The nonminimum-phase case is the most interesting, and is investigated more closely. It is shown that in this situation the insensitivity and robustness indices are equal. The single number representing both is called the regulability number of the plant. It is obtained by solution of a polynomial equation. The existence of a Hurwitz solution of this equation has been proved for low degree and is conjectured for the general case.

R. Lunderstädt: Zur Generierung ebener Trajektorien von Rauschquellen durch Peilungen

Insbesondere in der Schifffahrt ist eine häufig auftretende Problemstellung, aus Peilungen allein (passive tracking) die Trajektorie eines sich bewegenden Fahrzeugs zu bestimmen. Diese Aufgabe, die ein nichtlineares Filterproblem beinhaltet, ist in ihrer Allgemeinheit bisher nicht gelöst. - Für den Sonderfall der ebenen Bewegung und unter der Voraussetzung, daß das Fahrzeug als weiße Rauschquelle aufgefaßt werden kann, wird ein Lösungsalgorithmus angegeben, der die Trajektorie vollständig generiert. Neben der theoretischen Herleitung erfolgt die Behandlung eines Beispiels mit Ergebnissen aus einer hybriden Simulation.

M. Mansour: Stabilität von Systemen mit Totzeit

Das Problem der Stabilität von Systemen mit Totzeit wird zurückgeführt auf das Problem der Stabilität von zwei-dimensionalen Systemen. Genauer gesagt wird die charakteristische Gleichung in der Form $P(s, z)$ geschrieben, mit s als dem Laplace-Operator und z als dem Operator der z -Transformation. Unter Benutzung der bereits früher hergeleiteten Resultate über die "Quartic Equation" werden die Stabilitätsbedingungen unabhängig von der Totzeit abgeleitet. Eine Klasse von Systemen mit Totzeit wird auf diese Weise behandelt.

A. Munack: Zur Anwendung von Dekompositionsmethoden bei Systemen mit verteilten Parametern

Es wird untersucht, ob sich Dekompositionsmethoden - ähnlich wie bei Systemen mit konzentrierten Parametern - auch für Systeme mit verteilten Parametern vorteilhaft anwenden lassen. Zur Dekomposition des gekoppelten Systems und des zugehörigen globalen Kostenfunktionalis werden Lagrange- und Straffunktionsmethoden sowie die Reinjektionsmethode benutzt; bei der Optimierung finden die von Lions entwickelten Methoden Anwendung. Während das so dekomponierte Optimalsteuerungsproblem bei Beispielrechnungen keine deutlichen Rechenzeitvorteile gegenüber dem gekoppelten Vorgehen aufwies, zeigte das auf gleiche Weise dekomponierte Parameteridentifikationsproblem deutlich günstigere Eigenschaften als beim globalen Vorgehen. Allerdings weist das als Optimierungsaufgabe formulierte Parameteridentifikationsproblem bereits in sehr einfachen Fällen nicht-konvexe Funktionale und häufig auch ausgeprägte Nebenminima auf. Dann ist zunächst nicht gesichert, daß gekoppelte und entkoppelte Rechnung zum gleichen (relativen oder globalen) Minimum führen. - Für die Konvergenz des dekomponierten Parameteridentifikationsverfahrens läßt sich eine leicht auswertbare lokale notwendige Bedingung angeben. Damit gelingt es, auf einfache Weise zu überprüfen, ob eine dekomponierte Identifikation bei bestimmten Parameterbereichen überhaupt zum Ziel führen kann. Darüber hinaus ist auch der genaue lokale Konvergenzbereich für das dekomponierte Verfahren für ein vorgegebenes Beispiel berechnet worden. Diese Rechnung ist zwar ebenfalls leicht durchführbar, jedoch erheblich rechenzeitintensiver in der numerischen Behandlung.

G.J. Olsder: On the (non-)uniqueness of a new equilibrium concept

Recently a new equilibrium concept has been introduced in game theory. In contrast to the Nash equilibrium, in this new equilibrium concept, called after the economist Van der Weel, the reactions of all players are taken into account if one player deviates from his equilibrium decision. In this lecture we investigate some properties of this new concept and concentrate on uniqueness questions. The central theme in the analysis is the problem of solving a functional differential equation of the involutory type, i.e.

$$\left. \frac{d\varphi(z)}{dz} \right|_{z = \varphi(q)} = f(\varphi(q), q),$$

with initial condition $\varphi(0) = 0$. Depending on f and on the interval on which one is looking for a solution, a continuum of solutions exists. For the existence of solutions, the contraction theorem is used. If one is looking for a solution on the whole real line \mathbb{R} , then under certain assumptions regarding f , only one solution is known to exist.

H.J. Sussmann: Subanalytic sets and regular synthesis in the plane

General methods introduced by Brunovsky and myself, based on the theory of subanalytic sets, make it possible to prove theorems on the existence of a "piecewise analytic" optimal feedback control for many optimal control problems, provided that one can prove that the optimal open loop trajectories have certain regularity properties. For several classes of systems where it is possible to prove a bang-bang theorem with bounds on the number of switchings, this approach had already been applied to conclude that a "nice optimal feedback" (regular synthesis) exists. In this talk, we consider the simplest situation where, in addition to bang-bang controls, optimal singular controls occur as well. We study systems in the plane, with a real analytic dynamical law, and with a scalar input u entering linearly, and constrained to $|u| \leq 1$. We consider the Lagrangian optimal control problem in which the cost functional is the integral of a strictly positive real analytic function of the state variables alone. For such problems, we prove the existence of a regular synthesis. Remarkably, the theory of subanalytic sets is used in the proof, not only in the way indicated above (i.e. to go from trajectory regularity to regularity of the optimal feedback), but also in the proof of the theorem on the structure of the optimal open loop trajectories.

H. Tolle: Ober Erfahrungen mit einigen Mehrgrößenregelkreisentwurf- algorithmen bei Kraftfahrzeugprüfständen

Bei Kraftfahrzeugprüfständen werden zum Ersatz von Straßenfahrten die über das Rad auf das Fahrzeug einwirkenden Belastungen durch servohydraulische Stellzylinder aufgebracht. Je nach Prüfstandsaufbau treten dabei einseitige Einkopplungen oder echte Verkopplungen von zwei oder mehr Regelkreisen auf. Schwierigkeiten des Regelkreisentwurfs sind bedingt durch die Nichtlinearität der Kopplungen, Nichtlinearitäten in den Stellgliedern und Ver-

änderungen der Regelstrecke infolge Temperaturveränderungen des Hydrauliköls in den Stoßdämpfern bzw. Materialermüdungserscheinungen. In dem Vortrag, der auf Untersuchungen von A. Gräser basiert, wird nach einer kurzen Einführung in die Regelstrecke über Erfahrungen beim Regelkreisentwurf mit der nicht-linearen Entkopplung nach Freund und dem Verfahren von Horowitz/Sidi bei einseitiger Einkopplung und den Entwurf auf diagonale Dominanz nach Rosenbrock bzw. den sequentiellen Entwurf nach Mayne bei echter Verkopplung berichtet.

I. Troch: Ober die Stabilität von Empfindlichkeitsgleichungen

Es werden Systeme autonomer gewöhnlicher Differentialgleichungen mit homogenen rechten Seiten betrachtet, deren Ruhelage gleichmäßig asymptotisch stabil ist. Es wird gezeigt, daß - in Abhängigkeit von der gewählten Nominaltrajektorie - die Ruhelage der zugehörigen Empfindlichkeitsgleichung asymptotisch stabil, schwach stabil oder instabil sein kann. Darüber hinaus wird eine Abschätzung für das asymptotische Verhalten der Lösungen dieser Empfindlichkeitsgleichungen angegeben, die bestmöglich ist und zu deren Ermittlung nur eine Abschätzung für die Norm der Lösungen des Ausgangssystems, nicht jedoch die explizite Kenntnis dieser Lösung erforderlich ist.

G. Vossius: Kontrollprobleme der Funktionellen Stimulation Querschnittsgelähmter

Die Funktionelle Stimulation kann bei Behinderten mit hoher Querschnittslähmung (z.B. $C_5 - C_6$) mit Erfolg zur Erzeugung des Griffschlusses eingesetzt werden. Falls der Arm selbst noch willkürlich bewegt werden kann, ist es dem Behinderten dann möglich, wieder Tätigkeiten wie Essen, Trinken, Küchenarbeiten, kleiner Werkzeuggebrauch selbst auszuführen. Bedingt durch die geringe Restmotorik, die der Behinderte noch willkürlich innervieren kann, fällt ihm aber auch die Ansteuerung der Stimulation für den bewegungsablaufgerechten Einsatz schwer. Deshalb wurde die Ansteuerungskette von der Zielerfassung über die Ausgabe der Bewegungsintension, die Berechnung der Bewegungstrajektorie, die Reizverteilung auf die an der Bewegung beteiligten Muskeln, die Regelung der Muskelkontraktion bis zur Rückmeldung von Position und Kraft untersucht. Für die einzelnen Abschnitte wurden technische Realisierungsmöglichkeiten diskutiert bzw. vorgestellt.

J.L. Willems: Finite horizon and infinite horizon linear-quadratic optimal control problems

In this talk the following question is discussed:

Suppose we want to solve an infinite horizon optimal control problem for a linear system with quadratic cost function. Can this solution be obtained from the limiting behavior of the corresponding finite horizon (finite time interval) optimal control problem for receding horizon (increasing time interval)?

It is shown by some examples that the answer is not always positive; the reason why is discussed. A necessary and sufficient condition for the validity of the approach is derived. Moreover, a procedure is explained for those cases where the condition is not satisfied, to derive a different finite horizon problem for which the limiting behavior yields the desired result.

M. Zeitz: Übertragungsverhalten sehr schnell einschwingender Zustandsregelungen und Beobachter

Im Zusammenhang mit der Dimensionierung von Zustandsreglern und Beobachtern durch eine Vorgabe von Eigenwerten ist bekannt, daß Eigenwerte mit stark negativen Realteilen einerseits ein sehr schnelles Einschwingverhalten ergeben und andererseits zu einer entsprechend höheren Verstärkung von zeitlichen Änderungen der Eingangssignale führen. Diese gegenläufigen Abhängigkeiten der Einschwingzeit und Signalverstärkung von den Eigenwerten werden für den Grenzfall einer unendlich schnell einschwingenden Zustandsregelung eines linearen Eingrößensystems analysiert. Der zugehörige Grenzübergang für die Zustandsrückführung liefert einen Zusammenhang zwischen der Zustandsregelung und der inversen Steuerbarkeitsabbildung des Systems. Dieses Ergebnis läßt sich aufgrund der für lineare Systeme gegebenen Dualität zwischen Zustandsregelung und Zustandsbeobachtung auch dazu verwenden, das Übertragungsverhalten eines unendlich schnell einschwingenden Beobachters anzugeben.

A. Munack

Liste der Tagungsteilnehmer

Dr.-Ing. J. Ackermann
Deutsche Forschungs-u.Versuchsanstalt
für Luft- und Raumfahrt e.V.
Forschungsbereich Flugmechanik/-führung
Institut f.Dynamik der Flugsysteme

8031 Weßling

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

4790 Paderborn

Professor Dr. D. Franke
Hochschule der Bundeswehr Hamburg
Fachbereich Elektrotechnik -
Regelungstechnik
Holstenhofweg 85

2000 Hamburg 70

Prof. Dr.phil. W. Hahn
Institut für Mathematik II
Technische Universität Graz
Kopernikusgasse 24

A 8010 Graz

Prof. M.L.J. Hautus
Techn.Hogeschool Eindhoven
Dept. of Mathematics and Mechanics
Insulinde Laan 2

NL Eindhoven
(Niederlande)

Prof. Dr. D. Hinrichsen
Universität NW1

2800 Bremen 33

Dr. G. Kern
Institut für Mathematik II
Techn. Universität Graz
Kopernikusgasse 24

A 8010 Graz

Prof. Dr.rer.nat. H. Kiendl
Lehrstuhl f. Elektr.Steuerung und
Regelung
Universität Dortmund
Postfach 50050

4600 Dortmund-Hambruch 50

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

8700 Würzburg

Prof. Dr. W. Krabs
Fachbereich Mathematik
Techn.Hochschule Darmstadt
Schloßgartn 7

6100 Darmstadt

K. Kunisch
Institut für Mathematik
Technische Universität Graz
Kopernikusgasse 24

A 8010 Graz

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

Enschede /Niederl.

Prof. J.L. Lions
INRIA Institut National de Recherche
en Informatique et en Automatique
Domaine de Voluceau-Rocquencourt
B.P. 105 -

F 78150 Le Chesnay

Prof. Dr.-Ing. J. Lückel
Gesamthochschule Paderborn
Fachb.10 - Maschinentechnik I
Pohlweg 47 - 49
Postfach 1621

4790 Paderborn

Prof. Dr.-Ing. Ludyk
Fachsektion Elektrotechnik/Kybernetik
Universität Bremen
Postfach 330440

2800 Bremen 33

Prof. Dr.-Ing. R. Lunderstädt
Institut f. Automatisierungstechnik
Hochschule der Bundeswehr
Holstenhofweg 85

2000 Hamburg 70

Prof. A.G.J. MacFarlane
University Engineering Department
Control Engineering Group
Mill Lane

Cambridge CB2 1RX (England)

Prof. Dr. M. Mansour
Lehrstuhl f. Automatik der Eigen.
Techn. Hochschule Zürich
Gloriastr. 35

Ch 8006 Zürich

Prof. Dr. P.C. Müller
Regelungs- u. Meßtechnik
Universität GH Wuppertal
Gaußstr. 20

5600 Wuppertal 1

Dr.-Ing. A. Munack
Institut f. Regelungstechnik
Universität Hannover
Appelstr. 11

3000 Hannover 1

T.V. Nguyen
Institut f. Biokybernetik und
Biomedizinische Technik
Kaiserstr. 12

7500 Karlsruhe

Prof. Dr. sc. techn. H. Nour-Eldin
Automatisierungstechnik (Regelungs-
technik/Techn. Kybernetik
Gesamthochschule Wuppertal
Fachbereich Elektrotechnik
Fuhlrottstr. 10
Wuppertal 1

Dr. Geert Jan Olsder
Dept. of Applied Mathematics
Twente University of Technology
P.O. Box 217

Enschede /Niederlande

Professor Dr. R. Reissig
Institut f. Mathematik der Ruhr-
Universität Bochum
Buscheyst. , Geb. NA 1/34

4630 Bochum

Herrn K.P. Sondergeld
Dtsch.Forschungs-u.Versuchsanstalt
f.Luft- u.Raumfahrt e.V.
Forschungsb.Flugmechanik/Flugführung
Institut f.Dynamik d.Flugsysteme

8031 Weßling

Herrn H. Sussmann
227, rue d'Alésia

F 75014 Paris
France

Herrn
Prof.Dr.-Ing. M.Thoma
Institut f.Regelungstechnik
Universität Hannover
Apfelstr.11

3000 Hannover 1

Prof. Dr.H.Tolle
Techn.Hochschule Darmstadt
Lehrstuhl f.Regelsystemtheorie
Schloßgraben 1

6100 Darmstadt

a.o. Prof.Dr. I. Troch
Techn.Universität Wien
Arbeitsbereich Regelungstheorie u.
Hybridrechentechik
Karlsplatz 13

A 1040 Wien

Prof. Dr.G. Vossius
Institut f.Biokybernetik und
Biomedizinische Technik
Kaiserstr.12

7500 Karlsruhe

Prof. Dr. J.L. Willems
Laboratorium voor Theoretische
Elektriciteit en Toepassingen
van de Sterkstroom
Sint Pietersnieuwstraat 41

B 9000 Gent

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

7000 Stuttgart 80