

MATHEMATISCHES FORSCHUNGSINSTITUT OBERWOLFACH

Tagungsbericht 11/1980

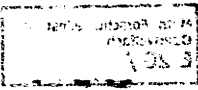
Regelungstheorie
9.3. bis 15.3.1980

Die diesjährige Tagung über Regelungstheorie leiteten M. Thoma (Hannover) und H.W. Knobloch (Würzburg) gemeinsam.

Erstmalig wurden neben den Einzelvorträgen auch Übersichtsvorträge gehalten, die die beiden Schwerpunktthemen der Tagung, nämlich die Systemidentifikation und die moderne Systemtheorie einführend darstellten. - Alle im Programm für Vorträge vorgesehenen Zeiten waren voll belegt, da außer den fünf Surveys weitere 27 Einzelvorträge gehalten wurden, die neben den Schwerpunktthemen auch andere Gebiete behandelten, so daß insgesamt wieder ein großes Spektrum aus dem Bereich der modernen Regelungstheorie vertreten war.

Dem von K.J. Åström in drei Vorträgen behandelten Schwerpunkt "Modellbildung - Identifikation - Adaptive Systeme" sind eine Reihe der Einzelvorträge zuzuordnen. So beschäftigten sich zwei Vortragende direkt mit der Modellbildung und Entwicklung technischer Systeme, wobei einerseits chemische Prozesse und zum anderen Probleme der Energiegewinnung erörtert wurden. Zwei weitere Vorträge handelten von Identifikationsverfahren; im einen wurde ausgehend von Approximationsverfahren auf die Bestimmung von Parametern und Anfangswerten bei hereditären Systemen eingegangen, während der andere Vortrag besonders die Parameteridentifikation im geschlossenen Regelkreis im Hinblick auf adaptive Regelungen zum Inhalt hatte. Für Systeme mit verteilten Parametern vom Evolutionstyp wurden adaptive Steuerungen in einem weiteren Vortrag behandelt.

Die Bedeutung, die Probleme der Robustheit in praktischen Anwendungen haben, wurde dadurch dokumentiert, daß den Vorträgen dieses Gebietes teilweise ebenfalls konkrete Anwendungsfälle zugrunde lagen. So wurden ein Reglerentwurf mit



Polgebietsvorgabe anhand einer Fluglageregelung und die Analyse von parameterinsensitiven Beobachtern anhand eines Tragregelsystems für eine Magnetschwebbahn erläutert. Weiterhin wurde über unvollständige Störgrößenkompensation im Hinblick auf spätere Anwendungen bei der aktiven Kraftfahrzeugfederung berichtet.

J.C. Willems hielt zwei Vorträge zum Schwerpunktthema "Moderne Systemtheorie". Auch hierzu wurden eine Reihe von Einzelfragen in gesonderten Vorträgen erörtert, so beispielsweise die Formulierung von Entkopplungsbedingungen mit Hilfe der Übertragungsmatrix, die Eigenschaften zeitvarianter Regelungssysteme und die Hermite-Indizes als Ähnlichkeitsinvarianten. Ein Vortrag beschäftigte sich mit der Übertragung von qualitativen Eigenschaften deterministischer Systeme auf den stochastischen Fall. Weitere Vorträge zur Thematik der stochastischen Systeme behandelten neben allgemeinen Aspekten vor allem Punkt- oder Zählprozesse; auch neue Ergebnisse zur Schätzung von Strukturparametern, beispielsweise der Ordnung des Systems, wurden vorgestellt.

Ein ebenfalls stets auf den Regelungstheorie-Tagungen vertretenes Gebiet ist dasjenige der Stabilität von Systemen. Diesmal behandelten die Vortragenden lineare, zeitvariable Systeme und Beziehungen zwischen der Ljapunov-Stabilität und Übergangsprozessen. Ferner wurde über Ergebnisse der Untersuchung der Eigenschaften von Gleichungen 4. Grades und über effiziente, numerisch unkritische Verfahren der Ermittlung von Inneren Determinanten berichtet.

Die größte Gruppe der Vorträge beschäftigte sich mit Optimierungsproblemen. Verbindungen zwischen gleichmäßiger Approximation und zeitoptimalen Steuerungen, ein Verfahren zur stabilen Vorwärtsintegration der Matrix-Riccati-Differentialgleichung sowie Kriterien zur Konvergenz dieser Differentialgleichung waren Gegenstand einiger Vorträge in dieser Themengruppe. Auch Probleme der in letzter Zeit stark entwickelten Mehrebenenoptimierung wurden in zwei Vorträgen erläutert; ferner wurden Ergebnisse zur Optimierung der Interception bei Unterwasserfahrzeugen vorgestellt. Ein weiterer Vortrag war der Optimierung bei Stellgrößenbeschränkungen gewidmet; diese Einschränkung lag auch einem anderen Vortrag zugrunde, der eine angenäherte Lösung mit Hilfe von Frequenzgangmethoden zum Ziel hatte.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die gehaltenen Vorträge eine nahezu ausgewogene Zusammenstellung der momentanen theoretischen Regelungsprobleme bildeten. Dem Ziel der Tagung entsprechend überwogen die mehr theoretisch orientierten Darstellungen; nur bei etwa einem Viertel der gehaltenen Vorträge wurden praktische Aufgabenstellungen erörtert oder standen zumindest direkt im Hintergrund der Untersuchungen. - Damit bot auch die diesjährige Tagung wieder Anlässe und Gelegenheiten zu lebhaften Diskussionen zwischen Theoretikern und Praktikern am Rande der Vorträge oder in den Abendstunden.

Interessante Problemstellungen, die sicherlich auch auf kommenden Tagungen weiterhin diskutiert werden und auch in Zukunft Anlaß zu intensiven Forschungen geben, wurden in zahlreichen Vorträgen angesprochen. So bedarf beispielsweise die Untersuchung des Konvergenzverhaltens und der Stabilität adaptiver Regelungssysteme durchaus noch weiterer theoretischer Behandlung. Ebenso werden die Methoden der dezentralen Regelung mit den aus den Anwendungen gewünschten Eigenschaften der Stabilität von geregelten Teilsystemen und der Robustheit gegen Ausfall von Teilsystemen oder Kopplungen weiterhin Gegenstand intensiver Arbeiten sein. Ferner werden Mehrgrößenregelungssysteme allgemein und Regelungen für Systeme mit verteilten Parametern in steigendem Maße Forschungsschwerpunkte bilden; diese Entwicklung könnte daher auf einer zukünftigen Tagung über Regelungstheorie intensiv behandelt werden.

Der schnelle Fortschritt im Bereich der Mikroelektronik wird es in naher Zukunft ermöglichen, in größerem Umfang als bisher aufwendige Verfahren zur Regelung von technischen Systemen einzusetzen. Auch wird der in allen Bereichen stärkere Druck zur Produktivitätssteigerung und Kostensenkung insbesondere an die Regelungstechnik neue Aufgabenstellungen herantragen. Eine stetige Weiterentwicklung der Regelungstheorie ist daher von größter Bedeutung. Die Tagungsteilnehmer waren sich darüber einig, daß besonders die Regelungstheorie-Tagungen in Oberwolfach aufgrund der vielseitigen Kommunikation unter den einzelnen Teilnehmern in hohem Maße zur Entwicklung der Regelungstheorie im deutschsprachigen Raum beitragen.

Vortragsauszüge

K. J. Åström: Modeling, Identification, and Adaptive Control

(Invited survey lectures)

Problems of modeling in automatic control were discussed. The major approaches were modeling from physics and modeling from process experiments. The role of identification was discussed. A particular problem, namely the sensitivity or robustness of a control design method to model errors was elaborated. Detailed results were given for the pole-placement design. Modeling of large systems was discussed and the role of non-numeric computer science was emphasized. Some results on the craft of modeling were finally given.

The formulation of system identification problems was given in terms of the major elements, data D , model class M and criterion C . The choices of D , M , and C were discussed for the problem of estimating parameters in models of dynamical systems. The related estimation theory was discussed. Results were given for the large sample properties of the parameter estimates. The role of interactive computer software in the practical solution of identification problems was emphasized. Principles for designing adaptive regulators were reviewed. Self-tuning regulators based on least-squares parameter estimation and minimum variance control were described. Mathematical analysis of the properties was done in detail for a special example. Problems of stability, convergence, and possible limit points were discussed, too. Results for more general cases were quoted.

J.C. Willems: A Guided Tour to some of the Basic Ideas in Systems Theory

(Invited survey lectures)

The purpose of these lectures was to set the stage for the second "Schwerpunktsthema" of this Tagung: Systems Theory. Two areas were discussed:

- i) Geometric Methods in Linear Systems Theory and
- ii) Axiomatics for the General Definition of Dynamical Systems. The first talk centered around the concepts of $A(\text{mod } B)$ ("controlled invariant") and $A|\text{Ker } C$ ("conditionally invariant") subspaces and their application to the disturbance decoupling problem. The second lecture reviewed first the classical input/output/state definition of a dynamical system and the realization theory problem.

Afterwards we introduced a new definition of dynamical systems (without inputs) but where in the external variable no distinction is yet made between inputs and outputs. We ended this lecture with discussing the differential geometric setting of such a theory.

J. Ackermann: Entwurf robuster Regelungssysteme im Parameterraum

Ein Regelungssystem sei "schön stabil", wenn alle Eigenwerte in einem vorgegebenen Polgebiet liegen. Es soll eine konstante Zustands- oder Ausgangsvektor-Rückführung so bestimmt werden, daß schöne Stabilität robust ist gegenüber großen Änderungen physikalischer Parameter der Regelstrecke. Hierzu wird das Polgebiet in den Parameterraum der freien Reglerparameter abgebildet. Für verschiedene Werte der Streckenparameter werden die jeweils zulässigen Gebiete im Reglerparameterraum bestimmt und zum Schnitt gebracht. Aus dieser Schnittmenge kann nun ein Entwurfsunkt im Hinblick auf weitere Forderungen an das Regelungssystem ausgewählt werden, z.B. geringe Stellamplituden, Bandbreitenbeschränkung, Robustheit gegenüber Sensorausfall oder Quantisierungsfehler im Regler.

F. Breiteneker: Stabile Vorwärtsintegration der Riccati-Gleichung von linear-quadratischen Optimierungsproblemen

Die Behandlung von linear-quadratischen Optimal-Control-Problemen mit Hilfe des Maximumprinzipes von Pontryagin führt auf die Lösung linearer Randwertaufgaben, deren direkte Integration wegen Instabilität des Differentialgleichungssystems (DGLS) nicht möglich ist. Diese direkte Integration kann nun entweder durch den sog. Riccati-Ansatz oder durch Invariantes Einbetten umgangen werden. In beiden Fällen müssen Matrix-Riccati-Differentialgleichungen (MRDGL) gelöst werden, einmal in negativer Zeitrichtung, einmal in positiver. Die Nachteile beider Verfahren sind nochmalige Integration der MRDGL bei Änderung von Randbedingungen bzw. Verkürzung der Endzeit sowie eine möglicherweise ebenso instabile Integration der MRDGL wie des ursprünglichen DGLS. Es wird nun ein Verfahren vorgestellt, das diese Nachteile nicht besitzt. Durch Abbildung des DGLS auf ein DGLS doppelter Dimension wird nach einem invarianten Einbetten die Lösung repräsentiert durch die Lösung einer MRDGL und zweier linearer MDGLn, die nur einmal über einem Zeitintervall gewünschter Länge integriert werden müssen. Zustandsvektor und Steuerung können nun punktweise durch Auflösen linearer Gleichungssysteme berechnet werden, und zwar auch dann, wenn sich

die Randbedingungen ändern oder die Endzeit verkürzt wird. Erweist sich die zu lösende MRDGL als instabil, so kann sie durch eine stabile ersetzt werden (Tauschen von Zustands- und Kozustandsvektor).

Außerdem werden Stabilitäts- und numerische Eigenschaften der auftretenden MRDGLn untersucht.

Gilles, E.D.: Model reduction of chemically reacting systems

By using the example of the fixed-bed reactor, the problem of model reduction of chemically reacting systems is treated. It is shown that a detailed analysis of the moving reaction zone as a non-linear phenomenon appearing in the fixed-bed reactor can finally lead to a considerably reduced model of this reactor type. The moving reaction zone can be considered a dissipative structure and a prototype of an active transport process. This kind of active transport process can be observed in many systems, which are not limited just to chemical engineering. Furthermore, it is emphasized that a moving reaction zone is characterized by a certain feature which here is called "form stability". This property might be used in order to considerably reduce the order of the non-linear equations, describing the reactor's behavior. The model reduction is achieved for a certain class of temperature- and reaction-rate profiles. Although these profiles can be characterized by only a small number of state variables, they enable us to describe the reactor's behavior in a rather wide range of operation. This procedure of model reduction based on physical considerations is also helpful in the design of appropriate control concepts, as it implies a better understanding of the non-linear phenomena in chemical reactors.

O. Hájek: A Connection between Time-Optimal Control and Uniform Approximation

Question 1: Given an n -dimensional linear subspace $F \subset C[0,1]$, when does one have uniqueness in the problem of best uniform approximation of each $x(\cdot) \in C[0,1]$ by $f \in F$?

Question 2: Given the n -dimensional control system

$\dot{x} = Ax - bu$, set $F = \{x(\cdot) : x(t) = c^T e^{At} b, 0 \leq t \leq 1\}$; when is the boundary of the reachable set, i.e. $\partial R(t)$, parametrised by the switch-times of optimal controls (we assume normality)?

Answer: F satisfies the Haar condition.

In the lecture, extensions and generalisations of these questions are commented on.

M.L.J. Hautus: An algebraic approach to decoupling

Using a result in a previous paper on feedback, M. Heymann and the speaker have given simple proofs of known results on decoupling (in particular Falb & Wolowich's theorem) as well as generalizations of known results. Characteristic of the conditions of decoupling obtained is that they are expressed directly in terms of the transfer matrix and not in terms of matrices obtained by an involved computation or in terms of abstractly defined subspaces of the state space. A complete solution can be given for the problem of decoupling by precompensation and decoupling of a left invertible system by state feedback. Also, results on the existence of stable decoupled systems are obtained. These results are reported upon.

D. Hinrichsen: Hermite-Indizes und Normalformen für erreichbare Systeme und Verallgemeinerungen

Betrachtet wird das Problem, ein vollständiges und unabhängiges System von Ähnlichkeitsinvarianten für erreichbare Paare (A,B) zu finden.

Jedem System $x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$ wird eine Polynommatrix $H_{(A,B)} \in \mathbb{R}[s]^{m \times m}$ in Hermite-Form zugeordnet. Die Grade der Diagonalpolynome von $H_{(A,B)}$ liefern eine Liste diskreter Ähnlichkeitsinvarianten (Hermite-Indizes). Zu jeder solchen Liste δ gibt es eine Anzahl $N(\delta)$ kontinuierlicher Parameter, die zusammen mit δ ein vollständiges Invariantensystem bilden. Jedem erreichbaren System (A,B) mit der Indexliste δ ist genau eine Hermite-Normalform zugeordnet, deren Struktur durch δ festgelegt wird.

Der Vortrag schließt mit der Entwicklung eines allgemeinen Konzeptes von 'Unabhängigkeitsindizes', unter das sich Hermite- wie Kronecker-Indizes subsumieren lassen.

R. Isermann: Prozeßidentifikation im geschlossenen Regelkreis und parameteradaptive Regalgorithmen

Rekursive Parameterschätzverfahren lassen sich mit geeignet ausgewählten Regalgorithmen zu parameteradaptiven Regalgorithmen kombinieren. Für lineare Prozesse mit zeitdiskreten Ein- und Ausgangssignalen werden deshalb zunächst

die Identifizierbarkeitsbedingungen für Parameterschätzverfahren im geschlossenen Regelkreis angeben. Wegen der ausgeprägt nichtlinearen und zeitvarianten Eigenschaften ist man bisher für Konvergenzuntersuchungen hauptsächlich auf Simulationen angewiesen. Simulationsergebnisse und praktische Anwendungen zeigen im allgemeinen eine gute Konvergenz, wenn alle getroffenen Voraussetzungen erfüllt werden. Es gibt noch eine Reihe offener theoretischer Probleme, die angesprochen werden.

F. Kappel: Approximation und Identifikation von hereditären Systemen

Systeme mit diskreten und verteilten (oder beschränkten) Verzögerungen können durch gewöhnliche Differentialgleichungen approximiert werden. Theoretische Basis für derartige Approximationsschemen sind Approximationssätze über C_0 -Halbgruppen (Trotter-Kato-Theorem). Die Approximationsresultate können dazu verwendet werden, um Algorithmen zur Identifikation von Parametern des ursprünglich gegebenen Systems zu entwickeln. Als Parameter sind auch die Anfangsfunktion oder die Verzögerungen zugelassen.

G. Kern: Zum Stabilisierungsproblem von linearen zeitvarianten Systemen

Vorgegeben sind endlich dimensionale lineare zeitvariable Systeme mit linearen Zustandsrückkopplungen. Bei den Untersuchungen zwischen den Zusammenhängen der Konzepte der Steuerbarkeit des offenen Kreises und den verschiedenen Stabilitätsgraden des geschlossenen Kreises ist im allgemeinen die Kenntnis der Fundamentallösungsmatrix von $\dot{x} = A(t)x$ notwendig. Diese ist aber in den meisten Fällen nicht bekannt, daher sind die Resultate meist nur theoretischer Bedeutung. Für Klassen von zeitvariablen Systemen $(A(t)$ und $B(t)$ seien beschränkt und außerdem genügt $A(t)$ einer Lipschitzbedingung) wird gezeigt, daß es genügt, die Steuerbarkeitsbegriffe eines vereinfachten Systems, und zwar für einen festen Zeitpunkt $s, t_0 \leq s \leq t$, $\dot{x} = A(s)x + B(s)u$, zu verwenden.

Außerdem wird für eine analytische Realisierung gezeigt, daß der Steuerbarkeitsbegriff, in den die Eigenschaften der Eigenwerte eingehen (im autonomen Fall von Prof. Hautus verwandt) auf diese Klasse von nichtautonomen Systemen ausgedehnt werden kann.

H. Kiendl: Fast zeitoptimale Regelung unter Berücksichtigung von Stellgrößenbeschränkungen mit Hilfe des Theorems von Cayley-Hamilton

Es wird das Problem der möglichst schnellen Ausregelung von Störauslenkungen x_0 bei zeitinvarianten linearen Abtastsystemen unter Berücksichtigung von Beschränkungen der Stellgröße behandelt. Es wird eine neue suboptimale Lösung vorgestellt, die wesentlich auf dem Theorem von Cayley-Hamilton basiert. Diese Lösung zeichnet sich gegenüber den bekannten Lösungen dadurch aus, daß der Rechenaufwand des resultierenden Regelalgorithmus äußerst gering und insbesondere nicht von der für die Ausregelung insgesamt erforderlichen Schrittzahl abhängig ist. Insbesondere hängt der Rechenaufwand daher nicht von der Größe der auszuregelnden Störauslenkung und nicht von dem maximal verfügbaren Stellgrößenbetrag ab.

W. Kliemann: Ein Zerlegungssatz für deterministische Kontrollsysteme und das qualitative Verhalten stochastischer Systeme

Die qualitative Theorie stochastischer Systeme $\dot{x}_t = f(x_t, t, \xi_t)$, ξ_t ein stochastischer Prozeß, versucht, die aus der Theorie klassischer dynamischer Systeme bekannten qualitativen Konzepte, wie Invarianz, Minimalität, Rekurrenz- und Ergodeneigenschaften auf stochastische Systeme im Zustandsraum $X \subset \mathbb{R}^n$ zu übertragen. Für ξ_t weißes Rauschen ist dies weitgehend vollständig von Chasminskii geleistet. In diesem Vortrag wird ξ_t als Diffusionsprozeß mit einer Nichtdegeneriertheitsbedingung vorausgesetzt und die Rekurrenz- und Ergodeneigenschaften der damit beschriebenen Systemklasse werden diskutiert. Als Anwendungsbeispiel wird das Problem des Wachstums des linearen, parametererregten Systems $\dot{x}_t = A_t x_t$ behandelt, wobei A_t ein stationärer, ergodischer Diffusionsprozeß ist.

H. Kwakernaak: Estimation of structure parameters

Certain system identification problems are characterized by the presence of a structure parameter, i.e. a non-real valued parameter that determines the structure of the system. We consider the situation where the structure parameter is identical to the number of parameters to be identified. In this case, application of least squares or maximum likelihood estimation techniques

usually leads to problems caused by overfitting. Recently a number of methods have been proposed to deal with this difficulty, among others by Akaike and Rissanen. These methods are discussed, and a new idea, which makes use of Cramer-Rao bounds to establish threshold levels, is introduced.

J. Lückel: Unvollständige Störgrößenkompensation

Die Effizienz eines Reglers, der u.a. auch dafür eingesetzt wird, um die Wirkung von Störungen auf ein System zu verringern, kann erheblich verbessert werden, wenn Informationen über die Störung mit im Regler verarbeitet werden. Dazu wird gewöhnlich ein deterministisches Modell für die Störung angenommen, die dann bei Erfüllung einer bestimmten Rangbedingung vollständig kompensiert werden kann. In der Praxis zeigt sich jedoch häufig, daß diese vollständige Kompensation nicht durchgeführt werden kann. Es besteht dann die Aufgabe darin, ein unterbestimmtes lineares Gleichungssystem mit einer geeigneten Nebenbedingung zu lösen. Durch eine Transformation des um das Störmodell erweiterten Systems in den Modalraum läßt sich bei einer Untersuchung der interessierenden Regelgrößen ein Algorithmus angeben, der die zu den Polen des Störmodells gehörenden Elementaranteile quadratisch minimalisiert.

G. Ludyk: Ober zeitvariante Regelungssysteme

Ausgehend von einem zeitdiskreten, zeitvarianten Modell für Mehrfachsysteme wird gezeigt, unter welchen Bedingungen eine Transformation auf Regelungsnormalform und damit eine einfache Synthese von Zustandsrückführungen möglich ist. Das Beobachtungsproblem kann dann dual gelöst werden. Schließlich wird gezeigt, daß eine kanonische Systemzerlegung in ein erreichbares und nicht erreichbares Untersystem auch bei strukturvarianten Systemen, d.h. Systemen, bei denen sich die Dimension des erreichbaren Unterraumes ändert, möglich ist. Ausgehend von dieser Systemzerlegung wird dann noch das Problem der Störgrößenaufschaltung behandelt.

R. Lunderstädt: Die Optimierung der Interception bei Unterwasserfahrzeugen

Die Interception bei Unterwasserfahrzeugen hat aus technischen Gründen möglichst schnell bzw. möglichst energiesparend zu erfolgen. Das dies beinhaltende Optimierungsproblem wird formuliert und für eine ebene Bewegung anhand vereinfachter Bewegungsgleichungen gelöst. Die Lösungen beziehen sich sowohl auf das Steuer- als auch auf das Regelungsproblem. Sie werden für den kontinuierlichen und den diskreten Fall (Abtastproblem) angegeben.

Es wird weiterhin aufgezeigt, daß bei der Berücksichtigung der dynamischen Eigenschaften des Antriebes für den Verfolger singuläre Teillösungen auftreten. Gleiches gilt bei der Berücksichtigung von Beschränkungen für die Drehbewegung bzw. die Drehbeschleunigung des Verfolgers.

M. Mansour: Positivity and nonnegativity conditions of a quartic equation and related problems.

Explicit conditions for positivity, nonnegativity, and stability as well as aperiodicity of a quartic equation are given. These conditions are useful in stability, optimality, and sensitivity studies of dynamic systems. The results were obtained by the author together with Prof. Jury from UC Berkeley.

P.C. Müller: Zur Theorie unempfindlicher Zustandsbeobachter

Die Theorie der Zustandsbeobachter zur Schätzung von Zustandsvariablen geht davon aus, daß die Parameter der Systembeschreibung bekannt sind. Dann gilt, daß der Schätzfehler unabhängig von der Regelung ist, und daß die algebraische Separation zwischen Regler und Beobachter erfüllt ist. Stimmen Systemparameter und Parameter, die dem Beobachterentwurf zugrunde liegen, nicht überein, so tritt eine Verkopplung zwischen Regelung und Schätzfehler auf, was zu unangenehmem Regelverhalten führen kann. In dem Vortrag wird die Frage geklärt, unter welchen Umständen auch bei Parameterschwankungen Zustandsbeobachter realisiert werden können, bei denen die Separationseigenschaft erhalten bleibt. Solche unempfindlichen Zustandsbeobachter werden vorgestellt. Die behandelte Theorie wird zum Beispiel beim Entwurf von Tragregelsystemen für Magnetschwebefahrzeuge angewandt.

A. Munack: Eigenschaften und Vergleich adaptiver Steuerungsverfahren für Systeme mit verteilten Parametern

Adaptive Steuerungsverfahren sind in der Lage, sich selbsttätig im Sinne eines vorgegebenen Gütefunktionalis Veränderungen der Parameter der zu steuernden Strecke und äußerer Einflüsse anzupassen. Den hier vorgestellten Methoden liegt der heuristische Ansatz einer Trennung von Identifikations- und Optimierungsproblem zugrunde. - Es wird zunächst das aus der Literatur bekannte Verfahren ohne Identifikation untersucht. Für dieses werden Funktionalabschätzungen hergeleitet, die nach dem Ablauf der adaptiven Steuerung sowohl Abschätzungen der unbekannt Parameter als auch Abschätzungen des Quotienten aus dem theoretisch optimalen und dem durch adaptive Steuerung erzielten Kostenfunktional gestatten.

Für das Verfahren mit Identifikation werden Abschätzungen der Differenz der Systemtrajektorie zu derjenigen des optimal gesteuerten Systems angegeben. In einem Spezialfall ist ein direkter quantitativer Vergleich beider Verfahren möglich.

Es zeigt sich, daß die Güte des adaptiven Verfahrens mit Identifikation im wesentlichen von der zeitlichen Ableitung der unbekannt Parameter abhängt. Daher erscheint diese Methode zur Regelung von Systemen mit unbekannt, zeitlich jedoch langsam veränderlichen Parametern gut geeignet.

H. Nour Eldin: Computation of Inners Determinants without Breakdown

The computation of the determinants of the Inners-Matrix constitute the numerical stability test for linear continuous or discrete control systems. The values of these determinants play also an essential role in different algorithms for control problems. Numerically, these values are computed by double triangularization of the Inners-Matrix using elementary upper triangular matrices. This can lead to break down in the sense that high order determinants cannot be calculated directly if low order ones are zero. It can be shown that the elementary relations of Givens are more suitable for double triangularization as the above deficiencies do not occur.

P.C. Parks: Nichtlineare Probleme bei Wellenkraftmaschinen

Umfangreiche Programme zur Erforschung alternativer Energiequellen werden in vielen Ländern durchgeführt. In Großbritannien sind große Anstrengungen unternommen worden, um das Problem der Ausbeutung der Wellenenergie des Meeres zu lösen. Die laufenden britischen Forschungsprogramme werden kurz beschrieben, um anschließend eine spezielle mathematische Frage von besonderer Bedeutung zu erläutern: Wie kann man mit einem notwendigerweise nichtlinearen Mechanismus wie einer Pumpe von der einfallenden Welle eine maximale Energieausbeute gewinnen? Die Lösung beinhaltet eine Verkopplung der Wellengleichung im Wasser mit einem nichtlinearen System mit konzentrierten Parametern, das die Pumpe beschreibt. Es wird gezeigt, daß bei richtiger Einstellung der Pumpe 95 % der einfallenden Energie gewonnen werden können - wenigstens theoretisch. Experimentelle Arbeiten sind mit einem solchen Gerät durchgeführt worden und werden in einem kurzen Film gezeigt.

R. Reißig: Beurteilung der Ljapunov-Stabilität aufgrund von Übergangsprozessen

Nach Perron beurteilt man die Stabilität linearer Systeme aufgrund des Übergangsverhaltens bei bestimmten Einwirkungen. Sei $x' = A(t)x$ ($x \in \mathbb{R}^n$, $A(t)$ beschränkt und meßbar); dann ist die allgemeine Lösung darstellbar als $x(t) = X(t)X^{-1}(t_0)x_0$, $X(t)$ Übergangsmatrix zur Anfangszeit 0. Zu einer stetigen und beschränkten Erregerfunktion $p(t)$ und zur Anfangsstörung 0 soll stets eine beschränkte Lösung gehören (Perron-Stabilität), d.h. $|\int_0^t X(t)X^{-1}(s)p(s)ds|$ beschränkt für alle $t \geq 0$. Man weiß: Äquivalent ist die gleichförmige asymptotische Stabilität nach Ljapunov, d.h. $|X(t)X^{-1}(t_0)| \leq M \exp(-\alpha(t-t_0))$, $t \geq t_0$.

J. Kloch stellt die Frage: Folgt wenigstens schwache Ljapunov-Stabilität, wenn man in der Bedingung nur konstante Erregung zuläßt? Zur Beantwortung betrachtet man die entsprechenden Übergangsprozesse mit variabler Anfangszeit $t_0 \geq 0$ und fordert ihre Beschränktheit für $t \geq t_0$: $|\int_{t_0}^t X(t)X^{-1}(s)ds|$ beschränkt für $t \geq t_0$ (Bedingung $P(t_0)$). Man zeigt, daß t_0 aus $P(t_0)$ bei beliebigem $t_0 \geq 0$ Ljapunov-Stabilität folgt und daß umgekehrt aus dieser zusammen mit $P(0)$ die Bedingung $P(t_0)$ für alle $t \geq 0$ hervorgeht. Dagegen folgt nur im autonomen Falle $P(t_0)$ aus $P(0)$, wie Kloch vermutet. Schon im periodischen Falle kann man ein Beispiel konstruieren, wo die Übergangsprozesse zur speziellen Anfangszeit $t_0 = 0$ beschränkt sind ($P(0)$), während keine Stabilität im Ljapunovschen Sinne besteht.

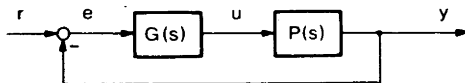
G. Schmidt: Bemerkungen zur Lösung nichtlinearer optimaler Steuerungsprobleme auf der Grundlage der hierarchischen Systemtheorie

Der Beitrag diskutiert einige bekannte iterative Algorithmen zur Lösung nichtlinearer optimaler Steuerungsprobleme unter dem Gesichtspunkt zentraler bzw. dezentraler Vorgehensweisen.

Es wird gezeigt, daß die Kozustands-Koordinations-Methode, die häufig als dezentrale Methode bezeichnet wird, in Wirklichkeit eine zentrale Methode zur iterativen Bestimmung der Lösung nichtlinearer optimaler Steuerprobleme ist. Die Kombination bekannter Dekompositionstechniken für großdimensionierte Systeme mit einer Kozustands-Koordination für die Teilsysteme führt zu einem neuen Lösungsverfahren für optimale Steuerungsaufgaben. Es weist als Vorteile die Dezentralisierung und die einfache numerische Durchführung auf.

In diesem Zusammenhang soll auch gezeigt werden, welche Beziehungen im Falle zeitdiskreter, nichtlinearer optimaler Steueraufgaben zwischen dieser Lösungsmethodik und bekannten Verfahren zur Lösung nichtlinearer multivariabler Gleichungen bestehen.

G. Schneider: Reglersynthese bei Begrenzungen



Vorgelegt sei obiges System, das sich für $t < 0$ in Ruhe befindet.

Gegeben: $P(s)$, $r_m > 0$, $\dot{r}_m > 0$, $\epsilon > 0$, $u_m > 0$.

Gesucht: Realisierbares $G(s)$, so daß

1) Gesamtsystem stabil auch bei hinreichend kleinen Parametervariationen

2) aus $|r(t)| \leq r_m$, $|\dot{r}(t)| \leq \dot{r}_m$ für $t \geq 0$

folgt $|e(t)| \leq \epsilon$, $|u(t)| \leq u_m$ für $t \geq 0$ mit einem möglichst kleinen ϵ .

Es wird gezeigt, daß für Eingangsfunktionen $r = \hat{r} \cdot \exp(j\omega t)$ hierzu lediglich die Ungleichungen

$$\left| \frac{F(j\omega)}{1 + G(j\omega)P(j\omega)} \right| \leq \epsilon, \quad \left| \frac{F(j\omega)G(j\omega)}{1 + G(j\omega)P(j\omega)} \right| \leq u_m \quad \text{für alle } \omega$$

mit

$$|F(j\omega)| = \begin{cases} r_m & , \quad \omega \leq \dot{r}_m / r_m \\ \dot{r}_m / \omega & , \quad \omega \geq \dot{r}_m / r_m \end{cases}$$

erfüllt werden müssen, sofern die Stabilität gewahrt ist. Simulationen ergaben, daß sich dann bei geringfügiger Abänderung der Ungleichungen für alle zulässigen Eingangsfunktionen praktisch verwendbare Regler ergeben.

Durch Approximation der Synthese-Ungleichungen ist es möglich, letztere in vielen Fällen ohne Rechnerunterstützung graphisch mit Hilfe von BODE-Diagrammen zu lösen, indem die Betragskennlinie von $G(j\omega)P(j\omega)$ so gewählt wird, daß sie zwischen zwei durch die Problemstellung gegebenen Begrenzungslinien verläuft. Auf diese Weise erhält man auch brauchbare Näherungsbeziehungen für die Abhängigkeit der erreichbaren Regelgüte von den gegebenen Begrenzungen. Das Verfahren kann ohne weiteres auf Abtastsysteme übertragen werden.

J.H. van Schuppen: On Stochastic Filtering Problems

The stochastic filtering problem is formulated and illustrated with some examples. Both processes with continuous paths and jump processes are treated. The role of this problem in stochastic control theory is indicated. We present the two main theories to resolve the stochastic filtering problem. For certain stochastic dynamical systems we summarize the resulting filters. Open problems and recent developments are mentioned.

Th. Weber: Filterung von Punkt- bzw. Zählprozessen

Punkt- bzw. Zählprozesse sind stochastische Prozesse, deren Zufälligkeit nicht in der Amplitude, sondern im Zeitpunkt des Eintretens eines bekannten Ereignisses liegt. Ein Sensor in einer Straße registriert Fahrzeuge, die zu zufälligen Zeitpunkten an der Meßstelle vorbeifahren. Sein Ausgangssignal besteht aus einer Folge von Pulsen, die über der Zeitachse zufällig verteilt sind.

Die Information, die ein derartiger Prozeß trägt, liegt in der Intensität (Zahl der Ereignisse pro Zeiteinheit), mit der die Ereignisse eintreffen. Ein Optimalfilter hat nun die Aufgabe, mit einem Punktprozeß als Eingang, einen Schätzwert für die Intensität zu liefern. Das Filter muß notwendigerweise nichtlinear sein, da ein Punkt- bzw. Zählprozeß nicht gaußverteilt ist.

In diesem Beitrag wird einmal auf die Theorie zur Beschreibung dieser Punkt- bzw. Zählprozesse eingegangen; zum anderen wird auf die Herleitung der Filtergleichungen eingegangen, und es werden mögliche Lösungsverfahren behandelt.

H.-D. Wend: Hierarchische Regelung komplexer dynamischer Systeme

Nach einer kurzen Beschreibung zweier hierarchisch organisierter Optimierungsverfahren, die als Entwurfsverfahren für Zweiebenen-Regelungssysteme herangezogen werden können, wird ein Überblick über einige hierarchische Regelungsstrukturen für komplexe dynamische Systeme gegeben. Die aus diesem besonderen Systemaufbau resultierenden Eigenschaften werden dargestellt. Daran schließt sich die Betrachtung von Stabilitätsproblemen für hierarchische Regelungssysteme bestehend aus dezentralisierten und koordinierten Teilsystemen an. Einige Vorteile solcher Systeme bezüglich der Flexibilität und der Betriebsicherheit werden erläutert. Am Beispiel der Zweiebenen-Regelung eines industriellen, elektrohydraulischen Handhabungssystems wird gezeigt, wie mit Hilfe der vorgestellten Regelungskonzepte praktische Problemstellungen vorteilhaft gelöst werden können.

J.L. Willems: Criterion for the convergence of the solution of the Riccati differential equation

In this contribution the convergence of the solution of the Riccati differential equation, which arises from the optimal control of linear systems with quadratic cost, is discussed. If the system is stabilizable, but if the state-dependent term in the cost function is not detectable, then the algebraic Riccati equation has several positive semi-definite solutions. One of these solutions leads to the stabilization of the system; this is the maximal solution. There is also a minimal solution, which is the optimal solution for zero terminal state penalty. Depending on the terminal state penalization, the solution of Riccati differential equations converges to the maximal solution, the minimal solution or an intermediate solution, or does not converge. Necessary and sufficient conditions for each of these cases are derived. The same analysis leads to criteria for the convergence

- (i) for the Riccati equation of an optimal control problem with non-positive-semi-definite terminal state penalty,
- (ii) for the Riccati equation of the minimum error covariance in filtering theory.

Part of this work was carried out in collaboration with Prof. F.M. Callier of Namur, Belgium.

Berichterstatter: A. Munack

Liste der Tagungsteilnehmer

- Ackermann, J., DFVLR - Forschungsbereich Flugmechanik/Flugführung,
Institut für Dynamik der Flugsysteme, 8031 Oberpfaffenhofen
- Aström, K.J., Lund Institute of Technology, Div. of Automatic Control
P.O. Box 725, Lund 7 (Schweden)
- Bär, W., Institut für Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg,
Cauerstr. 7, 8520 Erlangen
- Breitenecker, F., Institut f. Technische Mathematik, TU Wien,
Gusshausstr. 27-29, A 1040 Wien
- Dourdoumas, N., Theorie der Automatisierungssysteme, FB 14 Gesamthochschule
Paderborn, Postfach 1621, 4790 Paderborn
- Gilles, E.D., Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 7000 Stuttgart 80
- Hájek, O., FB Mathematik, AG 10., TH Darmstadt, Schloßgrabenstr. 7
6100 Darmstadt
ab 1.7.1980: Dept. of Mathematics
Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, 44106
- Hautus, M.L.J., Technische Hogeschool, Eindhoven, Afdeling Wiskunde, (Holland)
- Hinrichsen, D., Universität Bremen, MZH, Postfach, 2800 Bremen 33
- Hofer, E., Regelungstechnik und Prozeßautomatisierung, GH Essen,
Universität Essen, 4300 Essen 1
- Isermann, R., Institut f. Regelungstechnik, Fachgebiet Regelsystemtechnik,
TH Darmstadt, Schloßgraben 1, 6100 Darmstadt
- Kappel, F., Institut für Mathematik, Universität Graz, Elisabethstr. 11
A 8010 Graz
- Kern, G., Technische Universität Graz, Institut für Mathematik II,
Kopernikusgasse 24, A 8010 Graz
- Kiendl, H., Lehrstuhl für Elektrische Steuerung und Regelung,
Universität Dortmund, 4600 Dortmund-Hombruch
- Kliemann, W., Universität Bremen, FB 4, Postfach, 2800 Bremen
- Knobloch, H.W., Mathematisches Institut, Universität Würzburg,
Am Hubland, 8700 Würzburg
- Königs, R.P., Mathematik Planung - Springer Verlag
Neuenheimer Landstr. 28-30, 6900 Heidelberg 1
- Kwakernaak, H., Afd. TW, Techn. Hogeschool, Twente, Postbus 217
7500 Enschede (Holland)

- Lückel, J., FB 10 Automatisierungstechnik, Universität Paderborn
Pohlweg 47 - 49, 4790 Paderborn
- Ludyk, G., Rohrdommelweg 13, 2800 Bremen 33
- Lunderstädt, R., Hochschule der Bundeswehr, Institut für Automatisierungstechnik, Holstenhofweg 85, 2000 Hamburg 70
- Mansour, M., Automatik, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich
- Müller, P.C., Lehrstuhl B für Mechanik, TU München, Arcisstr. 21, 8000 München 2
- Munack, A., Institut für Regelungstechnik, Universität Hannover,
Appelstr. 11, 3000 Hannover 1
- Nour Eldin, H., Automatisierungstechnik und Techn.Kybernetik
Universität Wuppertal, Gaußstr. 20, 5600 Wuppertal
- Parks, P.C., Institut für Elektrische Steuerung und Regelung,
Ruhr Universität Bochum, 4630 Bochum 1
- ReiBig, R., Institut für Mathematik, Ruhr Universität Bochum
Universitätsstr. 150, 4630 Bochum 1
- Schmidt, G., Lehrstuhl für Steuerungs-und Regelungstechnik,
TU München, Arcisstr.21, 8000 München 2
- Schneider, G., Institut für Regelungstechnik, Krenngasse 37/II
A 8010 Graz
- van Schuppen, J.H., Mathematisches Centrum, Tweede Boerhaavestr.49
1091 AL Amsterdam, NL
- Thoma, M., Institut für Regelungstechnik, Universität Hannover,
Appelstr. 11, 3000 Hannover 1
- Troch, I., Technische Universität, Gußhausstr. 27 - 29,
A 1040 Wien
- Weber, T., Universität Karlsruhe, Institut f.Meß- und Regelungstechnik,
Postfach 6380, 7500 Karlsruhe 1
- Wend, H.-D., Universität Duisburg, Fachbereich 7, MSRT,
Bismarckstr. 81, 4100 Duisburg 1
- Willems, J.C., Groningen University, Mathematical Institute,
P.O. Box 800, NL 9700 AV Groningen (NL)
- Willems, J.L., Rijksuniversiteit, Grote Steenweg Noord 12,
B 9710 Zwijnarde-Gent (Belgien)