

38. REGELUNGSTECHNISCHES KOLLOQUIUM IN BOPPARD
25.-27. FEBRUAR 2004

Programm und Kurzfassungen

Mittwoch, 25. Februar 2004

Nachmittags **Anreise**
18:30 **Abendessen** im Bellevue Rheinhotel

Donnerstag, 26. Februar 2004

08:45 – 09:00 **Eröffnung und Begrüßung (Raum 1)**
Prof. Dr.-Ing. U. Konigorski, TU Clausthal

	Raum 1	S.	Raum 2	S.
09:00 – 10:30	Modellbildung und Systemanalyse Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. J. Lunze		Deskriptorsysteme Sitzungsleitung: Prof. Dr.rer.nat. C. Hillemeier	
09:00 – 09:30	Pendelverhalten des erweiterten europäischen Verbundnetzes <i>M. Kurth (Abteilung Stromerzeugung und Automatisierungstechnik, Universität Stuttgart, Welfonder, Gr. 27)</i>	5	H_∞ -Regler für nicht-propere Regelstrecken in Deskriptorform <i>D. Bernhard (Sicherheitstechnische Regelungs- und Messtechnik, Bergische Universität Wuppertal, Müller, Gr. 29)</i>	12
09:30 – 10:00	Periodizitätsanalyse mit spikenden Neuronen <i>K. Voutsas (Regelungstheorie und Robotik, TU Darmstadt, Adamy, Gr. 7)</i>	7	Generalisierte LFT-basierte Darstellung für Systeme mit parametrischen Unsicherheiten <i>S. Hecker (Institut für Robotik und Mechatronik, DLR, Weßling, Bals, Gr. 30)</i>	14
10:00 – 10:30	Niederdimensionale Galerkin- und Wirbelmodelle zur modellbasierten Regelung von Scherströmungen <i>M. Pastoor (FG Mess- und Regelungstechnik, TU Berlin, King, Gr. 2)</i>	9	Neue Resultate zur strukturellen Analyse linearer zeitinvarianter Deskriptorsysteme <i>G. Reißig (Lehrstuhl für Systemtheorie technischer Prozesse, Otto-von Guericke- Universität Magdeburg, Raisch, Gr. 20)</i>	16

10:30 – 11:00 **Kaffee-/Teepause**

38. REGELUNGSTECHNISCHES KOLLOQUIUM IN BOPPARD

25.-27. FEBRUAR 2004

11:00 – 12:30 Kraftfahrzeug-Anwendungen Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. K. Lemmer		Identifikation Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. H. Röck		
11:00 – 11:30	Regelung hybrider Antriebe auf der Basis spieltheoretischer Überlegungen <i>E. Münz (Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme, Universität Karlsruhe, Krebs, Gr. 17)</i>	18	Robustheit und Identifizierbarkeit komplexer biologischer Regelsysteme <i>J. Stelling (MPI Magdeburg, Gilles, Gr. 26)</i>	23
11:30 – 12:00	Optimierung von Kfz-Fahrstrategien unter Einsatz von Ambient Intelligence <i>M. Müller (Lehrstuhl für Regelungstechnik und Signaltheorie, TU Kaiserslautern, Pandit, Gr. 16)</i>	20	Prozessidentifikation-basierter Entwurf beobachtergestützter Fehlerdetektionssysteme <i>P. Zhang (Fachgebiet Automatisierungstechnik und Komplexe Systeme, Universität Duisburg-Essen, Ding, Gr. 11)</i>	25
12:00 – 12:30	Ein Vergleich zwischen einem FxLMS- u. einem Störgrößenbeobachteransatz zur aktiven Kompensation motorerrerger Schwingungen im Kraftfahrzeug <i>K. Kowalczyk (Institut für Systemdynamik und Flugmechanik, Universität der Bundeswehr München, Svaricek, Gr. 21)</i>	22	Identifikation und Prädikative Prozessregelung beim Laserstrahlschweißen <i>A. Bollig (Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen, Abel, Gr. 1)</i>	27

12:30 – 15:00 Mittagessen / Pause zum Spaziergang mit Gesprächen am Rheinufer!

15:00 - 16:00 Robotik Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. D. Söffker		Robuste Regelungen Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. G. Roppenecker		
15:00 – 15:30	Strukturvariable multisensorielle Überwachung und Regelung von Mensch-Roboter-Systemen <i>K. Giesen (Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung, Karlsruhe, Steusloff, Gr. 18)</i>	29	Anwendungsaspekte von Robustheitskriterien im Frequenzbereich <i>J. Schmuck (Lehrstuhl für Regelungssysteme und Leittechnik, BTU Cottbus, Lappus, Gr. 2)</i>	33
15:30 – 16:00	PixelSLAM - Ein scanbasierter Ansatz zur Navigation autonomer, mobiler Service-roboter in unstrukturierten Outdoor-Umgebungen <i>C. Brenneke (Institut für Systems Engineering, Universität Hannover, Wagner, Gr. 14)</i>	31	Robust Decentralized Low-Order Control of a HVDC Transmission Link <i>A. Farag (Arbeitsbereich Regelungstechnik, TU Hamburg-Harburg, Werner, Gr. 13)</i>	35

16:00 – 16:30 Kaffee-/Teepause

16:30 – 17:30 Plenarvortrag	
Restoring Function and Enabling Exercise in Paraplegia: the key role of feedback control in rehabilitation engineering <i>Prof. K.J. Hunt, Wylie Professor of Mechanical Engineering, University of Glasgow</i>	

17:30 – 18:00 Vorstellung neuberufener Kollegen

18:30 Abendessen

38. REGELUNGSTECHNISCHES KOLLOQUIUM IN BOPPARD

25.-27. FEBRUAR 2004

Freitag, 21. Februar 2003

08:30 – 10:00 Automatisierungssysteme Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. B. Vogel-Heuser		Aktuatorik Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. B. Lohmann		
08:30– 09:00	Steuerung des Eisenbahnbetriebes mittels Optimierung mit Genetischen Algorithmen <i>S. Wegele (Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, TU Braunschweig, Schnieder, Gr. 4)</i>	37	Modellierung und nichtlineare Regelung eines ERF-Aktuators <i>W. Kemmetmüller (Lehrstuhl für Systemtheorie und Regelungstechnik, Universität des Saarlandes, Kugi, Gr. 24)</i>	41
09:00 – 9:30	Integration von Sprachen für speicherprogrammierbare Steuerungen in die Unified Modeling Language durch Funktionsbausteinadapter <i>T. Heverhagen (Automatisierungstechnik, Universität Duisburg-Essen, Tracht, Gr.3)</i>	39	Energiebasierte Regelung von hydraulisch aktuierten mechanischen Systemen <i>G. Grabmair (Abt. für Regelungstechnik und Prozeßautomatisierung, J.K. Universität Linz, Schlacher, Gr. 12)</i>	43
09:30 – 10:00	Portal Automatisierungstechnik <i>R. Görsch (Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg, Löber, Gr. 10)</i>	57	Aspekte zur Modellierung und Regelung von pneumatischen Aktuatoren <i>A. Hildebrandt (Fachgebiet Regelungstechnik, TU Ilmenau, Sawodny, Gr. 15)</i>	44

10:00 – 10:30 Kaffee-/Teepause

10:30 – 12:00 Regelungs- und Steuerungsentwurf Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. B. Tibken		Regelung Sitzungsleitung: Prof. Dr.-Ing. U. Konigorski		
10:30– 11:00	Networked Control Systems – Probleme und Lösungsansätze – <i>O. Gabel (Lehrstuhl für Automatisierungstechnik, TU Kaiserslautern, Litz, Gr. 16)</i>	45	Reglerentwurf für lineare zeitinvariante Mehrgrößensysteme durch teilerfremde Faktorisierung <i>U. Potthoff (Institut für Regelungs- und Steuerungstheorie, TU Dresden, Reinschke, Gr. 9)</i>	50
11:00 – 11:30	Über die Systemtheorie ereignisdiskreter Systeme <i>H. Jäkel (Institut für Industrielle Informationstechnik, Universität Karlsruhe, Kiencke, Gr. 17)</i>	47	Dezentrale Strategieelemente für eine Evolutionsstrategie und Anwendung auf die Regleroptimierung eines industriellen Hydraulikventils <i>B. Nicolaus (Lehrstuhl für Elektr. Steuerung und Regelung, Uni Dortmund, Hoffmann, Gr. 8)</i>	52
11:30 – 12:00	Feedback Structures in Image Processing for Improvement of Character Recognition in Industrial Applications <i>D. Ristić (Inst. f. Automatisierungstechnik, Universität Bremen, Gräser, Gr. 5)</i>	48	Automatisierte Blutdrucksenkung zur aortalen Stentimplantation <i>R. Kähler (Inst. für Antriebstechnik und Mechanik, Universität Rostock, Friedrich, Gr. 23)</i>	54

12:00 – 12:30 Abschluss / Preisverleihung / Aufruf für Boppard 2005

12:30 – 13:30 Mittagessen

13:30 Ende des Kolloquiums

Pendelverhalten des erweiterten europäischen Verbundnetzes

Dr.-Ing. Marcus Kurth

Prof. Dr.-Ing. Ernst Welfonder

Abt. Stromerzeugung und Automatisierungstechnik (IVD)

Universität Stuttgart

Allmandring 5b, 70550 Stuttgart

Tel.: +49 (0) 711 / 685 – 6210

Fax.: +49 (0) 711 / 685 – 6590

Email: kurth@ivd.uni-stuttgart.de

Schlüsselwörter: Europäisches Verbundnetz, Netzpendelungen, Dämpfungsverhalten, Modalanalyse, Momentenmethode

Innerhalb des europäischen Verbundnetzes treten sporadisch immer wieder schwach gedämpfte Frequenz-/LeistungsPendelungen auf, die mit Periodendauern von vier bis sechs Sekunden den gesamten Netzverbund von Spanien bis Polen durchdringen. Zur Analyse des Pendeldämpfungsverhaltens ist das gesamte Hochspannungsnetz inklusive der einspeisenden Kraftwerksblöcke und dynamischen Lasten detailliert nachgebildet und die Gültigkeit des parametrisierten Netzdynamikmodells anhand des Vergleichs von Messungen und Simulationen belegt worden.

Quantitative Untersuchungen zum Pendeldämpfungsverhalten erweisen sich jedoch bzgl. großer Verbundnetze bislang als schwierig, da die komplexe Netzstruktur erhalten bleiben muss. Bisherige Untersuchungen beschränken sich daher vorwiegend auf die Analyse des Pendeldämpfungsverhaltens im Zeitbereich oder auf die Detailnachbildung einzelner Netzbereiche und der vereinfachten Nachbildung des Restnetzes. Weitere Untersuchungen, die auf einer Modalanalyse des Gesamtsystems basieren, führen auf eine unüberschaubare Anzahl von Informationen über das Verbundnetz-System.

Mit Hilfe der Momentenmethode, die ursprünglich nur zur Analyse des Einflusses von Kraftwerks- und Netzkomponenten auf das Pendeldämpfungsverhalten einfacher Ersatz-Netzdynamikmodelle entwickelt worden war, lässt sich nun auch bei der Modalanalyse großer, detaillierter Netzsysteme die Vielzahl der Einzel-Ergebnisse in komprimierter Form anschaulich darstellen.

Darauf aufbauend werden zum einen kostengünstig umsetzbare Möglichkeiten zur Verbesserung des Pendeldämpfungsverhaltens aufgezeigt, zum anderen wird das resultierende

Pendeldämpfungsverhalten bei vorgesehener Erweiterung des europäischen Verbundnetzes bis zum Schließen des mediterranen Ringes untersucht. Dies führt zu systemdynamisch äußerst interessanten Ergebnissen.

Literatur:

- [1] Kurth, M. und E. Welfonder: Ausreichende Bedämpfung von Netzpendelungen auch bei deregulierter Marktwirtschaft und Verbundnetz-Erweiterung. 6. GMA/ETG-Fachtagung Netz-Regelung und Systemführung, 21.-22. Mai 2003, München.
- [2] Kurth, M.: Pendelverhalten des erweiterten europäischen Verbundnetzes bei deregulierter Energiewirtschaft. Dissertation, Universität Stuttgart, 2003.
- [3] Kurth, M. and E. Welfonder: Oscillation behaviour of the enlarged European power system under deregulated energy market conditions. IFAC Symposium on Power Plants and Power Systems Control 2003. June 9-12, 2003, Seoul, Korea.

Periodizitätsanalyse mit spikenden Neuronen

K. Voutsas

Regelungstheorie und Robotik
Institut für Automatisierungstechnik
Technische Universität Darmstadt
Petersenstr. 20 / D-64287 Darmstadt
Tel. 06151 - 167401
Fax 06151 - 167424
Email kvoutsas@rtr.tu-darmstadt.de

G. Langner

Institut für Zoologie
Abteilung Neuroakustik
Technische Universität Darmstadt
Schnittspahnstr. 3 / D-64287 Darmstadt
Tel. 06151 - 163605
Fax 06151 - 163803
Email gl@neuro.bio.tu-darmstadt.de

J. Adamy

Regelungstheorie und Robotik
Institut für Automatisierungstechnik
Technische Universität Darmstadt
Grafenstr. 4 / 64283 Darmstadt
Tel. 06151 - 163442
Fax 06151 - 162507
Email Jadamy@iat.tu-darmstadt.de

M. Ochse

Institut für Zoologie
Abteilung Neuroakustik
Technische Universität Darmstadt
Schnittspahnstr. 3 / D-64287 Darmstadt
Tel. 06151 - 163004
Fax 06151 - 163803
Email ochse@bio.tu-darmstadt.de

Schlüsselwörter: brain-like systems, computational neuroscience, neural modelling, periodicity analysis, pitch processing, temporal processing, spiking neurons.

Die *Computational Neuroscience* beschäftigt sich mit der technischen Modellierung von biologischen neuronalen Systemen und mit der Problematik, wie die Neurone im Gehirn ihre Funktionen durchführen [1–4]. Basierend auf experimentellen Daten von neurophysiologischen und neuropsychologischen Untersuchungen, ist es möglich nicht nur präzise Modelle von Neuronen zu entwickeln, sondern auch Netzwerke zu simulieren, die aus solchen spikenden Neuronen bestehen. Ein solches neuronales Netzwerk wird in diesem Beitrag beschrieben.

Das Periodizitäts-Analyse-Netzwerk (PAN) ist ein biologisch inspiriertes Netzwerk von spikenden Neuronen zur Periodizitätsanalyse von amplitudenmodulierten (AM) Signalen. Das PAN besteht aus komplexen Modellen von Neuronen [5–6], die sowohl für die Untersuchung der Dynamik von einzelnen Neuronen und deren Netzwerken als auch für die Validierung von neurobiologischen experimentellen Daten benutzt werden können. Das beschriebene neuronale Netz mit spikenden Neuronen kann harmonische Tonsignale verarbeiten, d.h. Signale mit einer Basisfrequenz und mehreren Obertönen, und kann sowohl die Modulations- und die Trägerfrequenz als auch interaurale zeitliche Merkmale solcher Signale kodieren. Das PAN kann deswegen bei typischen Verarbeitungsaufgaben für Schallsignale benutzt werden, z.B. zur Lösung des Cocktail-Party-Problems, zur Sound Source Separation, zur Periodizitätsanalyse [7] und Lokalisierung von Schallquellen für die Robotik [8].

Das beschriebene neuronale Netz basiert auf einem Netzwerk von spikenden Neuronen, das aus der Neurophysiologie bekannt ist [9]. Das PAN, Abb. 1, besteht aus einem Triggerneuron, einem Oszillatorkomplex, einem Integratorkomplex und einem Koinzidenzneuron. Exemplarische neuronale Potentiale dieser vier Module des Netzes sind in Abb. 1 abgebildet. Die Funktion des PAN basiert auf der Korrelation von zeitlich verzögerten und unverzögerten neuronalen Antworten der Neuronen des PAN auf AM-Signale. Diese Antwortsignale laufen zu Neuronen, die als Koinzidenzdetektoren reagieren. Jede Periode des AM-Signals löst ein

Potential im Triggerneuron aus (Abb. 1), welches dann eine rasche Oszillation (Oszillator Potential in Abb. 1) mit einer vordefinierten Frequenz generiert. Parallel zu diesem Prozess, reagiert das Integratorneuron im selben zeitlichen Zyklus - allerdings zeitverzögert (Integrationsperiode des Integratorpotentials in Abb. 1). Das Koinzidenzneuron wird nur dann aktiv, wenn die Integrationsperiode gleich der Periode des AM Signals ist. Aus einer Vielzahl von PAN's, die für verschiedene Modulationsfrequenzen ausgelegt sind, kann dann ein komplettes Analysenetzwerk erstellt werden.

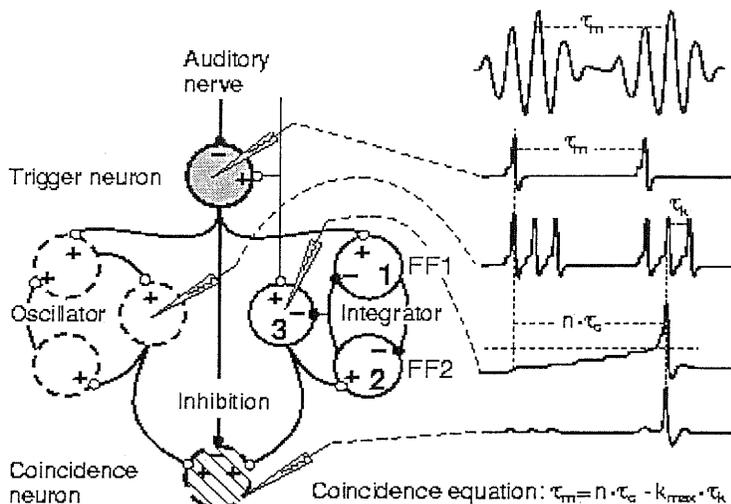


Abbildung 1. Das PAN und einige exemplarische neuronale Membranpotentiale der vier Module des Modells. Das PAN wird mit einem AM-Signal stimuliert.

Literatur:

- [1] J.M. Bower, und D. Beeman, *The book of GENESIS: Exploring realistic neural models with the GEneral NEural Simulation System*, 2nd ed., New York: Springer Verlag, 1998.
- [2] M.L. Hines, und N.T. Carnevale, *The NEURON simulation environment*, Neural Computat., Vol. 9, S. 1179-1209, 1997.
- [3] A. Weitzenfeld, M.A. Arbib, und A. Alexander, *The neural simulation language, a system for brain modeling*, Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
- [4] C. Koch, und I. Segev, *Methods in neuronal modeling, From Ions to Networks*, 2nd ed., (C. Koch, und I. Segev Ed.), Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- [5] W. Gerstner, *Integrate-and-Fire Neurons and Networks*, in *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (M.A. Arbib, Ed.), 2nd ed., Cambridge, MA: MIT Press, 2003, S. 577-581.
- [6] C. Koch, C.H. Mo, und W. Softky, *Single-Cell Models*, in *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (M.A. Arbib, Ed.), 2nd ed., Cambridge, MA: MIT Press, 2003, S. 1044-1049.
- [7] G. Langner, und C.E. Schreiner, *Periodicity coding in the inferior colliculus of the cat. Part I. Neuronal mechanisms*, J. Neurophysiol., Vol. 60, S. 1799-1822, 1988.
- [8] J. Adamy, K. Voutsas, und V. Willert, *Ein binaurales Richtungshörsystem für mobile Roboter in echoarmer Umgebung, at-Automatisierungstechnik*, Vol. 51, S. 387-395, 2003.
- [9] G. Langner, *Neuronal periodicity coding and pitch effects*, in *Central Auditory Processing and Neural Modeling* (Ed. Poon, and Brugge), New York: Plenum Press, V. 31-41, 1998.

Niederdimensionale Galerkin- und Wirbelmodelle zur modellbasierten Regelung von Scherströmungen

M. Pastoor, R. King

FG Mess- und Regelungstechn.
Inst. für Anlagentechn.,
Prozesstechn. und Techn. Akustik
Technische Universität Berlin, P2-1
Hardenbergstr. 36a
10623 Berlin

Mark.Pastoor@TU-Berlin.de

B.R. Noack

FG Theoret. Strömungsmechanik
Hermann-Föttinger-Inst.
für Strömungsmechanik
Technische Universität Berlin, HF 1
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

G. Tadmor

Dep. of Electrical & Comp. Engin.
440 Dana Research Building
Northeastern University
360 Huntington Ave.
Boston, MA 02115

Schlüsselwörter: Strömungsregelung, freie Scherschicht, niederdim. Modellierung, Galerkin-Methode, Wirbelmethode, Proper-Orthogonal-Decomposition (POD)

Die niederdimensionale Grobstrukturmodellierung von Scherströmungen spielt als Ergänzung zu experimentellen Untersuchungen und numerischer Simulation eine zunehmend wichtigere Rolle in industrieller Anwendung und universitärer Forschung. Oftmals lassen sich mit vertretbarem Aufwand nur anhand niederdimensionaler Modelle verschiedene Aktuationskonzepte testen, regelungstechnische Methoden entwerfen oder physikalische Schlüsselprozesse verstehen. Am Beispiel zweier Benchmark-Probleme der Strömungsbeeinflussung soll diese Strategie verdeutlicht werden. Diese Probleme beinhalten die Beeinflussung der von Kármánschen Wirbelstraße und von wandbegrenzten Scherschichtinstabilitäten.

Galerkin-Modell der Kreiszyylinderumströmung:

Die Strategie der modellbasierten Strömungsregelung wird zunächst auf die Strömung um einen kreisförmigen Zylinder bei $Re = 100$ angewendet. Bei dieser Reynoldszahl bildet sich die von Kármánsche Wirbelstraße aus (siehe Abb. 1). Das Regelungsziel ist die Unterdrückung der Wirbelablösung im unmittelbaren Nachlauf des Zylinders. Hierzu werden zwei physikalische Aktuationsmöglichkeiten untersucht:

- A) transversale lokale Volumenkraft im Nachlauf
- B) transversale Oszillation des Zylinders.

Die Strömung wird durch ein niederdimensionales Galerkin-Modell beschrieben. Ausgangspunkt der Modellierung ist die Galerkin-Approximation (Gl. 1).

$$\mathbf{v}^{[N]}(\mathbf{x}, t) \approx \mathbf{v}_0(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^N a_i(t) \mathbf{v}_i(\mathbf{x}) \quad (1)$$

Sie stellt eine Zerlegung des Geschwindigkeitsfeldes in eine stationäre Grundmode \mathbf{v}_0 und ein Orthonormalsystem N -ter Ordnung für die Fluktuationsanteile dar. Die Fluktuationsanteile werden durch zeitabhängige Fourierkoeffizienten a_i und ortsabhängige POD-Moden \mathbf{v}_i beschrieben. Eine wichtige Neuerung ist die Verschiebungsmode \mathbf{v}_N . Sie ermöglicht erstmals die realistische Beschreibung der Transiente von der stationären Lösung auf den periodischen Grenzyklus. Durch Projektion der Navier-Stokes-Gleichung auf den Unterraum der Galerkin-Approximation ergibt sich das Galerkin-Modell der natürlichen Strömung (Gl. 2) mit den Konstanten l_{ij} und q_{ijk} .

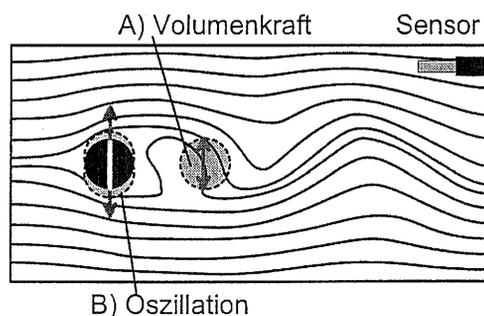


Abb. 1: Stromlinien der von Kármánschen Wirbelstraße im Nachlauf eines Zylinders bei $Re = 100$. Die Strömung kann durch zwei Aktuatoren beeinflusst werden: A) transversale Volumenkraft im Nachlauf, B) transversale Oszillation des Zylinders. Über einen Hitzdrahtsensor wird aus einer Geschwindigkeitsmessung der Zustand geschätzt (Beobachter).

$$\frac{d}{dt} a_i = \frac{1}{Re} \sum_{j=0}^N l_{ij} a_j + \sum_{j,k=0}^N q_{ijk} a_j a_k \quad , \text{ mit } a_0 = 1 \quad (2)$$

Die Dimension des Modells in Gl. (2) wird durch die Zahl der berücksichtigten Moden N vorgegeben. Bereits für $N = 3$ wird von diesem Modell, welches nur das dominante, periodische Verhalten der Wirbelstraße erfasst, 96% der Fluktuationsenergie aufgelöst.

Für den Fall A) kann die Aktuierung einfach durch den Zusatz $u b_i$ in Gl. (2) berücksichtigt werden, wobei $u(t)$ die Stellgröße und b_i die Projektion der Volumenkraft auf die Galerkin-Approximation darstellt:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{a} = A(\mathbf{a}) \mathbf{a} + \mathbf{b} u \quad \mathbf{a} = (a_0; \dots; a_N) \quad (3)$$

An diesem einfachen Modell wird eine energiebasierte Regelung entworfen, die die Energie in den Fluktuationsmoden $r = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$ reduziert. Der Regler kann die turbulente kinetische Energie um bis zu 45% reduzieren. Neben dem Regler wird auch ein Beobachter aufgebaut, der den Zustand der Strömung aus einem einzigen Sensorsignal schätzen kann. Bei der Validierung in der numerischen Simulation der Navier-Stokes-Gleichung werden die Schwierigkeiten deutlich, einen Regler zu entwerfen, der die Gültigkeitsgrenzen des Modells respektiert. Aktuierte Transienten dürfen die invariante Mannigfaltigkeit des Fixpunktes nicht signifikant verlassen und müssen mit der natürlichen Frequenz schwingen (Abb. 2).

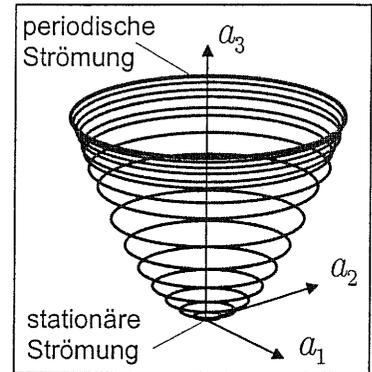


Abb. 2: Mannigfaltigkeit der natürlichen Transienten für den Übergang vom Fixpunkt (stationären Strömung) auf den periodischen Grenzzyklus (periodische Strömung). Der Regler darf nur Transienten in der Nähe der Mannigfaltigkeit erzwingen.

Im Fall B) wird eine oft betrachtete, realistischere Form der Aktuierung untersucht. Durch die transversale Oszillation wird der Hauptströmung eine quergerichtete Nebenströmung überlagert. Diese muss durch eine zusätzliche Aktuationsmode und einen zugehörigen Fourierkoeffizienten a_c berücksichtigt werden. Hierdurch entsteht ein allgemeineres Galerkin-Modell, wobei die Geschwindigkeit des Zylinders die Stellgröße $u = a_c$ ist:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{a} = A(\mathbf{a}, u) \mathbf{a} + \mathbf{b} u + \mathbf{k}_1 u^2 + \mathbf{k}_2 \frac{d}{dt} u \quad (4)$$

Gl. (4) lässt sich auf die gleiche Form wie Gl. (3) bringen, wenn anstelle der Geschwindigkeit die Beschleunigung des Zylinders ($u = da_c/dt$) als Stellgröße betrachtet wird. Regler und Beobachter aus Fall A) lassen sich dann auf Fall B) übertragen.

Wirbelmodell der Strömung hinter einer rückwärts gewandten Stufe: Nun wird die Strömung über eine rückwärts gewandte Stufe bei einer Reynoldszahl von $Re_h = 4000$ untersucht. Die Strömung (Abb. 3) löst an der Stufenkante ab und bildet eine Scherschicht aus, die die Hauptströmung vom Totwasser trennt. Die Scherschicht rollt sich zu Scherschichtwirbeln auf, weiter stromab legt sich die Strömung an die Wand an. Durch periodisches Einblasen und Absaugen an der Stufenkante (Amplitude und Frequenz wählbar) ist die Strömung beeinflussbar. Das Regelungsziel ist die Vorgabe der Wiederanlegelänge. Der strömungsphysikalische Mechanismus ist die Anfachung der Kelvin-Helmholtz-Instabilität in der Scherschicht, die ein Aufrollen größerer Wirbelstrukturen bewirkt und damit den Impulsaustausch quer zur Hauptströmung erhöht.

Die Modellierung der Grobstrukturen (Strömungsablösung, Aufrollung der Scherschicht) erfolgt über Wirbelmodelle. Kennzeichen der Wirbelmodelle ist eine Approximation der kontinuierlichen Wirbelstärkeverteilung im Strömungsfeld durch diskrete Punktwirbel. Die Dynamik wird durch die Potentialtheorie und die Biot-Savart-Gleichung beschrieben. Wirbelstärkeproduktion an der Stufenkante wird durch Einsetzen von Punktwirbeln modelliert. Um die Modelle niederdimensional zu halten, werden Punktwirbel entfernt, wenn sie sehr weit stromab geschwommen sind, bzw. werden verschmolzen, wenn sie sehr nahe beisammen stehen. Hierdurch ist die Zahl der Zustandsgrößen jedoch nicht festgelegt.

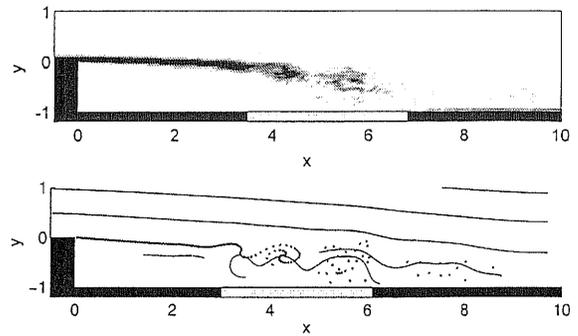


Abb. 3: Numerische Simulation (oben) und Wirbelmodell (unten) der Stufenströmung bei $Re_h = 4000$. Die Simulation zeigt die Wirbelstärkeverteilung. Das Wirbelmodell (300 Wirbel) zeigt die Wirbelorte (rote Punkte). Die hellen Balken in der Wand markieren Gebiete mit Rückströmung.

Mit Wirbelmodellen ist die natürliche Strömung und der Effekt der lokalen Aktuierung gut reproduzierbar. Daher können Wirbelmodelle zur Prädiktion geeigneter Aktuierungsorte und -signale (Steuerung) verwendet werden. Der Aufbau geschlossener Regelkreise gestaltet sich aufgrund der Struktur der Wirbelmodelle schwierig. Vielversprechende Lösungsansätze sind eulerisierte Wirbelmodelle und Hybridmodelle aus Galerkin- und Wirbelmodellen.

Literatur

- [1] BECKER, R., M. GARWON, C. GUTKNECHT, G. BÄRWOLFF und R. KING: Regelung aerodynamischer Strömungen am Beispiel einer rückwärts gewandten Stufe. *at - automatisierungstechnik* **50**, 79f, 2002.
- [2] FIEDLER, H. und H.-H. FERNHOLZ: On the management and control of turbulent shear flows. *Progr. Aeronaut. Sci.* **27**, 305–387, 1990.
- [3] GAD-EL-HAK, M.: Modern developments in flow control. *Appl. Mech. Rev.* **49**, 365–379, 1996.
- [4] GERHARD, J., M. PASTOOR, R. KING, B.R. NOACK, A. DILLMANN, M. MORZYŃSKI und G. TADMOR: Model-based control of vortex shedding using low-dimensional Galerkin models. *AIAA-Paper* **2003-4261**, 2003.
- [5] MEIBURG, E.: Three-dimensional vortex dynamics simulation. In: GREEN, S. (Herausgeber): *Fluid vortices*, Seiten 651–685. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995.
- [6] NOACK, B.R. und H. ECKELMANN: A low-dimensional Galerkin method for the three-dimensional flow around a circular cylinder. *Phys. Fluids* **6**, 124–143, 1994.
- [7] NOACK, B.R., K. AFANASIEV, M. MORZYŃSKI, G. TADMOR und F. THIELE: A hierarchy of low-dimensional models for the transient and post-transient cylinder wake. Akzeptiert zur Veröffentlichung im *J. Fluid Mech.*, 2003.
- [8] PASTOOR, M., R. KING, B.R. NOACK, A. DILLMANN und G. TADMOR: Model-based coherent-structure control of turbulent shear flows using low-dimensional vortex models. *AIAA-Paper* **2003-4262**, 2003.

H_∞ -Regler für nicht-properere Regelstecken in Deskriptorform

Dirk Bernhard *

Peter C. Müller **

* Sicherheitstechnische Regelungs- und Messtechnik
Bergische Universität Wuppertal
Gaußstraße 20, 42097 Wuppertal
Tel.: (0202) 439 2312
Fax: (0202) 439 2586
Email: dirkb@uni-wuppertal.de

** Sicherheitstechnische Regelungs- und Messtechnik
Bergische Universität Wuppertal
Gaußstraße 20, 42097 Wuppertal
Tel.: (0202) 439 2017
Fax: (0202) 439 2586
Email: mueller@srm.uni-wuppertal.de

Schlüsselwörter: Deskriptorsysteme, Robuste Regelung, Properheit

Deskriptorsysteme sind mathematische Modelle technischer Prozesse, die durch Differential- und algebraische Gleichungen beschrieben werden. Dadurch erlauben sie einen wesentlich besseren physikalischen Einblick in das Systemverhalten als die meist abstrakte Formulierung im Zustandsraum. Dieser Vorteil wird jedoch durch vermehrte Schwierigkeiten bei der Analyse und Synthese derartiger Systeme erkauft. So kann, im Gegensatz zum Zustandsraum, das Übertragungsverhalten eines Deskriptorsystems von höheren Ableitungen der Eingangsgrößen abhängen. In diesem Fall wird das Übertragungsverhalten als nicht-proper bezeichnet. Nicht-properes Übertragungsverhalten kann z.B. bei der Modellierung von Mechanismen auftreten [2].

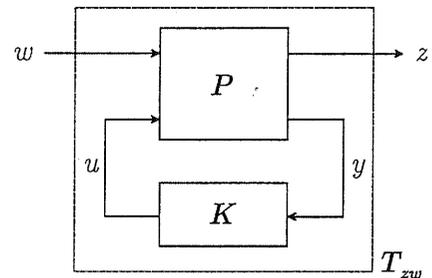


Abbildung: H_∞ -Standardproblem

Untersucht wird die Verallgemeinerung des H_∞ -Standardproblems und somit auch der Linearen Fraktional-Transformation (LFT) auf nicht-properes Übertragungsverhalten der Regelstrecke $T_{zw} : \|T_{zw}\|_\infty := \|LFT(P, K)\|_\infty < \gamma$ in Deskriptorform (siehe Abbildung). Nicht-properes Übertragungsverhalten setzt einen Nilpotenzindex > 1 voraus und wird von den Steuer- und Beobachtbarkeitsbedingungen der jeweiligen Realisierung des Übertragungsverhaltens bestimmt. Da für abstrakte Regelstrecken P mit nicht-properem Übertragungsverhalten keine (endliche) H_∞ -Norm (Hardy-Norm „ $\|P\|_\infty \rightarrow \infty$ “) existiert [3], wird eine erweiterte Synthesemethode vorgestellt. Im Gegensatz zur den bekannten Methoden [4], wird bei diesem Ansatz auf die Voraussetzung properer Teilübertragungsfunktionen der abstrakten Regelstrecke P verzichtet. Somit treten an die Stelle der bekannten Regularitätsbedingungen für normale Systeme modifizierte Lösbarkeitsbedingungen für Deskriptorsysteme. Die erweiterten Voraussetzungen dienen auch zur Verallgemeinerung der (LFT) auf nicht-properere abstrakte Regelstrecken (LFTD, „D“: Deskriptorform). Die gesamte H_∞ -Synthesemethode bestimmt dabei zum einen die Ordnung des notwendigen Rauschfilters zur Bandbreitenbegrenzung der Eingangsstörsignale und zum anderen die innere Struktur des optimalen H_∞ -Reglers. Unter Voraussetzung einer

beschränkten Stördynamik (farbiges Rauschen) beschreibt die verallgemeinerte Lösung eines (technisch realisierbaren) Reglers, der das nicht-properes H_∞ -Standardproblem löst.

Literatur:

- [1] V. Ionescu, C. Oara, M. Weiss: *Generalized Riccati Theory and Robust Control – A Popov Function Approach*. John Wiley & Sons, 1999.
- [2] P. C. Müller: *Linear-Quadratic Optimal Control of Non-Proper Descriptor Systems*. Proc. MTNS 2000, Perpignan, June 19-23, 2000.
- [3] A. Rehm, F. Allgöwer: *H_∞ -Control of Descriptor Systems with high Index*. IFAC World Congress, Beijing, July 5-9, 1999, Vol. D, Pages 31-37.
- [4] K. Zhou, J. C. Doyle, K. Glover: *Robust and Optimal Control*. Prentice Hall, 1996.

Generalisierte LFT-basierte Darstellung für Systeme mit parametrischen Unsicherheiten

Simon Hecker

Institut für Robotik und Mechatronik
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
82234 Weßling
Tel. +49 (8153) 28-3374
Fax +49 (8153) 28-1441
Email simon.hecker@dlr.de

Schlüsselwörter: Unsicherheitsmodellierung, Robuste Regelung, Deskriptor-Systeme

Viele physikalische Systeme sind als parametrische, LTI-Systeme in Deskriptorform darstellbar:

$$\begin{aligned} E(p)\dot{x} &= A(p)x + B(p)u \\ y &= C(p)x + D(p)u. \end{aligned} \quad (1)$$

Dabei ist $p = (p_1, \dots, p_k)$ ein Vektor physikalischer Parameter, wie beispielsweise Masse oder Trägheit eines Flugzeuges. Wir nehmen an, die Einträge der Systemmatrizen $A(p)$, $B(p)$, $C(p)$, $D(p)$, $E(p)$ sind rationale Funktionen in p . Für gewöhnlich sind die Parameterwerte nicht genau bekannt und variieren in einem bestimmten Intervall. Ziel ist nun, (1) robust auf Stabilität zu untersuchen oder einen robusten Regler zu entwerfen, der (1) für alle möglichen Parametervariationen stabilisiert. Die μ -Synthese/Analyse [8] und LPV-Regelung [4] sind sehr nützliche Werkzeuge zum robusten Reglerentwurf bzw. zur robusten Stabilitätsanalyse. Um diese Methoden anzuwenden, muss (1) auf LFT (linear fractional transformation)-Form transformiert werden. Dies entspricht einer multidimensionalen Systemrealisierung [2]. Es gibt mehrere Ansätze, um (1) auf LFT-Form zu transformieren und es existiert keine eindeutige Lösung. Am wichtigsten dabei ist, dass die Ordnung des LFT-Modells niedrig ist. Da es mit bestehenden Ordnungsreduktionsverfahren für LFT-Modelle [3] im Allgemeinen nicht möglich ist, eine Minimalrealisierung zu erhalten, muss bereits die Realisierungsmethode dazu geeignet sein, LFT-Modelle niedriger Ordnung zu erzeugen. In bisherigen Arbeiten [1, 6], muss (1) vor der eigentlichen LFT-Realisierung symbolisch transformiert werden. Diese symbolischen Transformationen erhöhen im Allgemeinen die Ordnung der resultierenden LFT-Modelle. In diesem Beitrag wird eine neue LFT-Realisierungsmethode [5] vorgestellt, die auf einer generalisierten LFT-Darstellung basiert. Bei dieser allgemeinsten Darstellungsform für rationale, parametrische Systeme sind symbolische Transformationen vor der LFT-Realisierung nicht mehr notwendig. In Zusammenarbeit mit ONERA-Frankreich, wurde eine neue Version der MATLAB LFR-Toolbox [7] entwickelt, in die die generalisierte LFT-Realisierungsmethode, sowie effiziente Algorithmen zur numerischen und symbolischen Ordnungsreduktion integriert wurden.

Literatur:

- [1] C.M. Belcastro. Uncertainty modeling of real parameter variations for robust control applications. PhD thesis, University of Drexel, US, December 1994.
- [2] N. K. Bose. Applied Multidimensional Systems Theory. Van Nostrand Reinhold Company, 1982.
- [3] R. D'Andrea and S. Khatri. Kalman decomposition of linear fractional transformation representations and minimality. In Proc. of the American Control Conference, pages 3557–3561, Albuquerque, New Mexico, 1997.

- [4] G. E. Dullerud and F. Paganini. A Course in Robust Control Theory – A Convex Approach. Texts in Applied Mathematics 36, Springer, 2000.
- [5] S. Hecker and A. Varga. Generalized LFT-based representation of parametric uncertain models. In Proc. European Control Conference ECC, Cambridge, UK, 2003.
- [6] P. Lambrechts, J. Terlouw, S. Bennani, and M. Steinbuch. Parametric uncertainty modeling using LFTs. In Proc. American Control Conference, pages 267–272, San Francisco, CA, 1993.
- [7] J. F. Magni. Linear Fractional Representations with a Toolbox for Use with MATLAB. Departement of Systems Control and Flight Dynamics, ONERA–CERT, Toulouse, France, December 2001.
- [8] K. Zhou, J. C. Doyle, and K. Glover. Robust and Optimal Control. Prentice Hall, 1996.

Neue Resultate zur strukturellen Analyse linearer zeitinvarianter Deskriptorsysteme

Vortragsskizzenfassung

Gunther Reißig

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Lehrstuhl für Systemtheorie technischer Prozesse (Prof. J. Raisch)

Postfach 41 20, D-39016 Magdeburg

Tel.: +49+391-6711286, Fax: +49+391-6711191, E-Mail: gr@ieee.org

Schlüsselwörter: Deskriptorsystem, strukturelle Analyse, Index, Algorithmus von Pantelides, Methode der Dummy-Ableitungen

Eine Vielzahl technischer und physikalischer Vorgänge und Systeme kann durch Deskriptorsysteme der Form

$$F(\dot{x}, x, t, p) = 0 \quad (*)$$

mit $F: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}^n$ beschrieben werden. Dabei repräsentieren die Komponenten von x physikalische Größen; p spielt die Rolle eines Parameters und t die der Zeit.

Wegen der enormen Größe der in verschiedenen Anwendungsbereichen auftretenden Systeme (*) stellt die Ermittlung qualitativer Eigenschaften solcher Systeme ein erhebliches Problem dar, das nur für Spezialfälle gelöst ist, z.B. [1, 3, 4, 6, 7].

Im Vortrag geht es um die Ermittlung struktureller Indizes von Zeilen und Spalten (auch: von Gleichungen und Variablen) des Deskriptorsystems

$$A(p)\dot{x} + B(p)x = f(t), \quad (**)$$

wobei die von Null verschiedenen Einträge der Koeffizientenmatrizen $A(p)$, $B(p)$ voneinander unabhängige Komponenten des Parametervektors p sind. Dabei ist der strukturelle Index der Zeile i definiert als

$$1 + \delta^i(n-1) - \delta(n),$$

wobei $\delta(n)$ den strukturellen Grad des charakteristischen Polynoms des Büschels (A, B) und $\delta^i(n-1)$ den maximalen strukturellen Grad in s eines Minors der Ordnung $n-1$ von $sA(p) + B(p)$ außerhalb der Zeile i bezeichnet,

$$\delta(n) = \max_{p \in \mathbb{R}^k} \deg_s(sA(p) + B(p)),$$

$$\delta^i(n-1) = \max\{\deg_s(M) \mid p \in \mathbb{R}^k, M: \text{Minor der Ordnung } n-1 \text{ von } sA(p) + B(p) \text{ außerhalb Zeile } i\}.$$

Die strukturellen Indizes von Spalten sind analog erklärt.

Das Problem der Bestimmung struktureller Indizes wird zunächst auf die Bestimmung der Empfindlichkeiten eines bekannten kombinatorischen Optimierungsproblems bezüglich gewisser Störungen zurückgeführt. Dann wird gezeigt, daß diese Empfindlichkeiten mit Komponenten zweier dualer Lösungen des Optimierungsproblems übereinstimmen und daß sich jede dieser dualen Lösungen bei der Lösung des Optimierungsproblems ohne Mehraufwand ermitteln läßt. Weiterhin wird gezeigt, wie sich bei Kenntnis der strukturellen Zeilenindizes Gleichungssysteme zur Ermittlung konsistenter Anfangswerte linearer Deskriptorsysteme aufstellen lassen. Schließlich wird gezeigt, daß die Methode der Dummy-Ableitungen [2] ein Index-1 System minimaler Größe liefert, wenn zur Bestimmung der abzuleitenden Gleichungen nicht die vom Algorithmus von Pantelides [5] gelieferten Informationen verwendet werden, sondern die strukturellen Zeilenindizes.

Literatur

- [1] D. Estevez-Schwarz and C. Tischendorf. Structural analysis of electric circuits and consequences. *Internat. J. Circuit Theory Appl.*, 28(2):131–162, 2000.
- [2] S. E. Mattson and G. Söderlind. Index reduction in differential–algebraic equations using dummy derivatives. *SIAM J. Sci. Comput.*, 14:677–692, 1993.
- [3] K. Murota. *Matrices and matroids for systems analysis*. Springer, 2000.
- [4] R. O. Nielsen and A. N. Willson. A fundamental result concerning the topology of transistor circuits with multiple equilibria. *Proc. IEEE*, 68(2):196–208, Feb. 1980.
- [5] C. C. Pantelides. The consistent initialization of differential–algebraic systems. *SIAM J. Sci. Statist. Comput.*, 9(2):213–231, Mar. 1988.
- [6] K. Reinschke. *Multivariable Control – A Graph Theoretic Approach*, volume 108 of *Lect. Notes Control Inform. Sciences*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1988.
- [7] G. Reißig. Extension of the normal tree method. *Internat. J. Circuit Theory Appl.*, 27(2):241–265, 1999. Erratum in vol. 28, no. 1, 2000, p. 99.

Regelung hybrider Antriebe auf der Basis spieltheoretischer Überlegungen

Eberhard Münz *

Volker Krebs **

* Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12
Tel.: 0721/608 2462
Fax: 0721/608 2707
muenz@irs.uni-karlsruhe.de

** Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12
Tel.: 0721/608 3180
Fax: 0721/608 2707
krebs@irs.uni-karlsruhe.de

Schlüsselwörter: Hybride Antriebe, Differentialspiele, Dynamische Programmierung

Aus verschiedenen Gründen, stellt die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs in Kraftfahrzeugen ein wichtiges Ziel, sowohl in der Forschung als auch in der Serienentwicklung aller namhaften Kraftfahrzeughersteller dar. Daher werden gegenwärtig alternative Antriebe zum konventionellen Verbrennungsmotor entwickelt. Eine der meistbetrachteten Alternativen ist der Einsatz hybrider Antriebsstränge, bei denen neben dem Verbrennungsmotor eine elektrische Maschine und Akkumulatoren eingesetzt werden. Durch den Einsatz solcher Antriebsstränge entstehen zusätzliche Freiheitsgrade. Beispielsweise besteht die Möglichkeit beim Bremsen Bewegungsenergie in elektrische und schließlich chemische Energie umzuwandeln; des Weiteren kann auch der Lastpunkt des Verbrennungsmotors hin zu besseren Wirkungsgraden verschoben werden. Bei geschickter Nutzung dieser Freiheitsgrade kann der Gesamtverbrauch des Fahrzeugs signifikant verringert werden. Allerdings kann man dem Fahrzeugführer nicht zumuten, die entsprechenden Parameter während der Fahrt selbst festzulegen. Daher müssen diese entsprechend der Fahrerwünsche durch eine Steuerung, bzw. Regelung festgelegt werden.

Es gibt Ansätze, die hybriden Antriebstränge prädiktiv mit Hilfe von Telematik zu regeln; die Telematik wird in diesem Fall dazu benutzt, prädiktive Informationen über die zu fahrende Strecke zu akquirieren [1]. Durch den Einsatz prädiktiver Regler kann so die Momentanforderung an die beiden Motoren berechnet werden. Wenn aber die Telematik ausfällt, oder Situationen auftreten, in denen eine Prädiktion der Fahrzeuggeschwindigkeit nicht möglich ist, wird eine grundlegende Regelstrategie benötigt, die den hybriden Antriebstrang trotzdem befriedigend regelt. Da die Prädiktion zudem mit hohem Realisierungsaufwand verbunden ist, wäre eine Regelung, die ohne Prädiktion auskommt, von Vorteil.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein spieltheoretischer Ansatz entwickelt [3], der die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal einsetzt. Das beinhaltet neben der Wahl der Motormomente auch die Wahl eines geeigneten Ganges.

Für den Fahrer wäre es optimal, wenn anhand der zu Verfügung stehenden Einflussgrößen, sein gewünschtes Fahrverhalten mit minimalem Kraftstoffeinsatz verwirklicht würde. Da allerdings der gesamte Geschwindigkeitsverlauf und somit der Momentenverlauf nicht bekannt ist, liegt kein konventionelles dynamisches Optimierungsproblem vor. Wird der Steigungswinkel der Straße als unbekannt, jedoch beschränkte Einflussgröße auf das System interpretiert, so kann das Problem, das Hybridfahrzeug optimal zu regeln, als Differentialspiel [2] modelliert werden: Der Fahrzeugregler versucht den Verbrauch des Fahrzeuges durch die Ausgabe geeigneter Motormomente und durch geeignete Gangwahl zu minimieren. Um den Formalismus der Differentialspiele anwenden zu können, ist ein virtuel-

ler zweiter Spieler als Gegner notwendig, der versucht den Verbrauch des Fahrzeuges durch die Vorgabe von entsprechenden Steigungswinkeln zu maximieren. Daher kann man sich die Regelung eines Hybridfahrzeugs als Spiel des Fahrzeugreglers gegen eine weithin unbekannte Umwelt vorstellen. Sobald die Umwelt bekannt ist, d.h. das Steigungsprofil und der Verlauf des gewünschten Radmoments, vereinfacht sich das Differentialspiel zu einem Optimalsteuerungsproblem.

Am Simulationsmodell vierter Ordnung eines Hybridfahrzeugs auf der Basis einer A-Klasse von DaimlerChrysler wird in diesem Beitrag gezeigt, wie die Regelung von Hybridfahrzeugen als Differentialspiel dargestellt werden kann. Der Entwurf einer angepassten neuartigen Regelungsstruktur sorgt dafür, dass sowohl den Bedürfnissen des Fahrers, als auch der Verbrauchsreduktion Rechnung getragen wird. Das resultierende Differentialspiel kann aufgrund von Vorüberlegungen auf eine Schar konventioneller Optimalreglerprobleme zurückgeführt und anschließend mit Hilfe der dynamischen Programmierung gelöst werden. Anhand von Simulationen des neuen europäischen Fahrzyklus (NEFZ) wird zum einen das Einsparpotential von Hybridfahrzeugen und zum anderen die Leistungsfähigkeit dieser Vorgehensweise dargestellt.

Literatur:

- [1] BACK, Michael; SIMONS, Matthias; KIRSCHBAUM, Frank; KREBS, Volker: Predictive Control of Drivetrains. *Proceedings of IFAC World Congress*. Barcelona, 2002
- [2] LEVIN, Joseph: *Differential Games*. London: Springer Verlag, 1994
- [3] MÜNZ, Eberhard; SCHWAIGER, Matthias; KREBS, Volker: Controlling Hybrid Electric Vehicles Using Differential Game Theory. *To Appear in Proceedings of IFAC Symposium in Advances in Automotive Control*, 2004

Optimierung von Kfz-Fahrstrategien unter Einsatz von Ambient Intelligence

Mark Müller *

Madhukar Pandit **

* Lehrstuhl für Regelungstechnik und Signaltheorie
Technische Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger Straße, 67663 Kaiserslautern
Tel.: +49-631-2052829
Fax: +49-631-2054205
Email: mark.mueller@eit.uni-kl.de

** Lehrstuhl für Regelungstechnik und Signaltheorie
Technische Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger Straße, 67663 Kaiserslautern
Tel.: +49-631-2052088
Fax: +49-631-2054205
Email: pandit@eit.uni-kl.de

Schlüsselwörter: Geschwindigkeitsprädiktion, Predictive Gear Scheduling, Kfz

Im Fahrzeugbau lässt sich beobachten, dass immer mehr Kfz mit modernen Telematik- und informationsverarbeitenden Systemen ausgestattet sind. Assistenzsysteme ermöglichen bereits heute mit ihrer Sensorik einen umfangreichen Einblick in das Fahrzeugumfeld, als Beispiele seien Abstandsregel-Tempomat (ACC), Telematikdienste und Navigationssysteme genannt. Stehen insbesondere Informationen über den Streckenverlauf und den Verkehr vor dem Fahrzeug zur Verfügung, so ist die Tür geöffnet zur Konzeption und Realisierung von Fahrzeugführungsstrategien, die hinsichtlich Fahrkomfort und Kraftstoffverbrauch optimal sind. Insbesondere kann ein künftiges Assistenzsystem den Fahrer darin unterstützen, vorausschauend eine optimale Gangwahl zu treffen. Dies ist Gegenstand dieser Arbeit.

Betrachtet wird ein Fahrzeug mit einem automatischen Getriebe, d.h. der Fahrer ist bereit, die Aufgabe der Gangwahl an das Fahrzeug abzugeben. Stand der Technik sind hierfür Getriebe-steuerungen, die auf einem Grundschaftprogramm basieren und mit Adaptionen an diverse Fahrzeugzustände (z.B. Steigungsfahrt) arbeiten. Das hier vorgestellte Zielsystem mit Namen Predictive Gear Scheduling (PGS) verarbeitet zusätzlich Daten der vor dem Fahrzeug liegenden Strecke. Dazu sind keine baulichen Änderung des Antriebsstrangs notwendig, da nur Informationen des Fahrzeugumfelds verarbeitet werden.

Um den optimalen Gang prädiktiv zu bestimmen ist es erforderlich, die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zu präzisieren. Es wird aus den Streckendaten und dem bis zu diesem Zeitpunkt erfassten Fahrerverhalten eine Geschwindigkeitstrajektorie berechnet, welche die vom Fahrer voraussichtlich gewählte Geschwindigkeit für den kommenden Streckenabschnitt repräsentiert; sie wird laufend und mit gleitendem Horizont aktualisiert.

Die Regelungsaufgabe des Fahrzeugs in Längsrichtung und der Aufbau der Simulations- und Entwicklungsumgebung wird durch die in Bild 1 dargestellte Struktur verdeutlicht. Neben dem Regelkreis aus Fahrer und Fahrzeug existiert ein Regelkreis aus Fahrzeug und Getriebesteuerung. Im Falle des PGS besteht ein erweiterter Informationsfluss vom Fahrer bzw. der Umgebung über die Geschwindigkeitsprädiktion zur erweiterten Getriebe-steuerung.

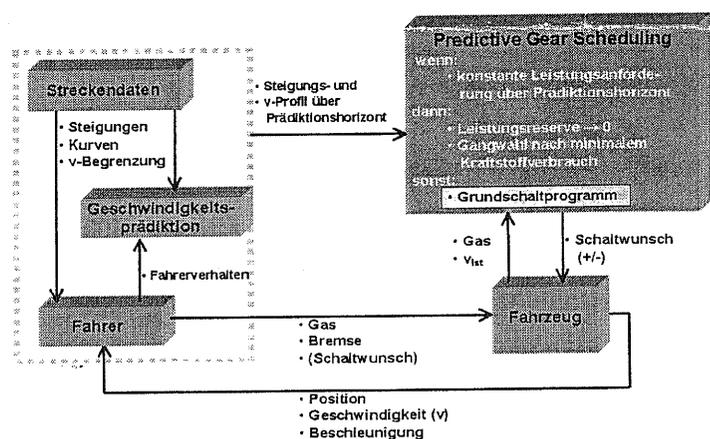


Bild 1: Regelkreisstruktur

Da jeder Fahrer einen eigenen Fahrstil hat, ist eine Adaption integriert. Parameter der Geschwindigkeitsprädiktion, welche charakteristisch für das Beschleunigungs- und Fahr-

verhalten sind, werden an das Fahrerverhalten adaptiert, indem für die zurückliegende Fahrstrecke prädizierte Geschwindigkeitstrajektorien und tatsächlich eingeregelter Fahrzeuggeschwindigkeiten verglichen werden.

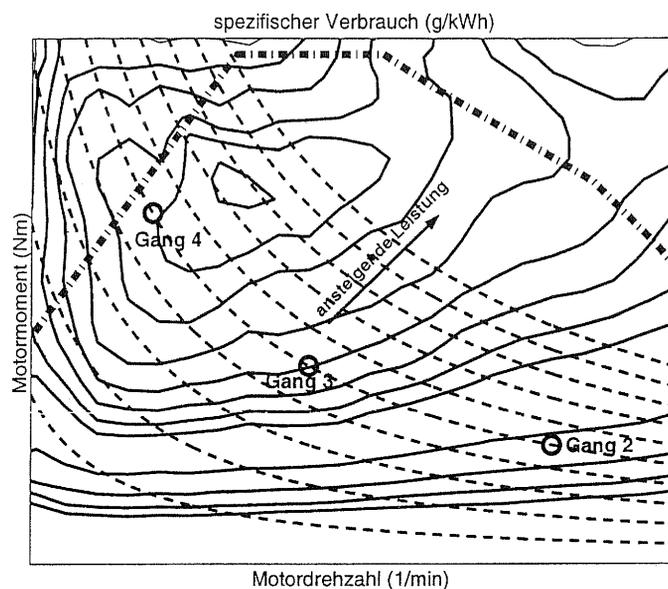


Bild 2: Motorkennfelder

Der PGS-Algorithmus ist detailliert in [1] beschrieben. Aus dem vorhergesagten Geschwindigkeitsverlauf wird unter Einbeziehung der Fahrzeugumfelddaten das vom Motor aufzubringende Drehmoment als Funktion vom Weg ermittelt. Schließlich wird mit Hilfe von Motorkennfeldern (Bild 2) der optimale Gang gewählt. Die meisten Geschwindigkeitswerte können durch die Gangwahl mit mehreren Motorbetriebspunkten (Motormoment und Motordrehzahl) erreicht werden. So ergeben die gekennzeichneten Betriebspunkte der Gänge 2, 3 und 4 die gleiche Fahrzeuggeschwindigkeit, jedoch unterschiedlichen Verbrauch und unterschiedliche Leistungsreserve.

Die Funktionsweise und Qualität der Geschwindigkeitsprädiktion und des PGS-Algorithmus wird sowohl anhand von Simulationsbeispielen als auch anhand von Testfahrten mit einem Versuchs-Pkw unter realen Verkehrsbedingungen auf einer 20 km langen Strecke im Großraum Stuttgart getestet. In der Simulationsumgebung wird der Straßenverkehr mittels stochastischer Prozesse modelliert [2].

Bild 3 gibt den vorhergesagten und den tatsächlich vom Fahrer gewählten Geschwindigkeitsverlauf auf einem Streckenabschnitt wieder. Erste Ergebnisse deuten auf Verbrauchseinsparungen um einige Prozent hin.

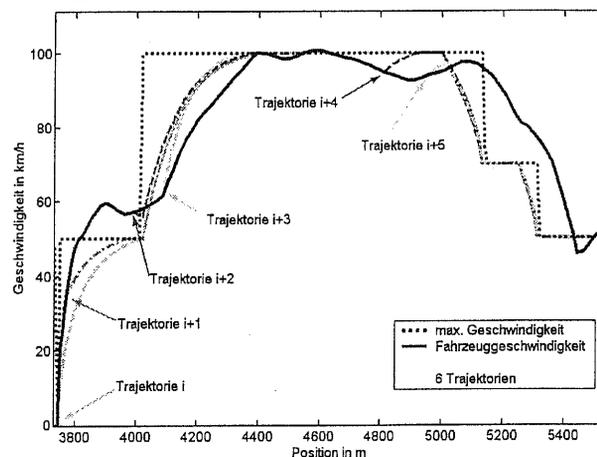


Bild 3: Geschwindigkeiten im Vergleich

Das Verfahren der Voraussage der Geschwindigkeitstrajektorie ist auch für den Einsatz weiterer vorausschauender Anwendungen bei Hybridfahrzeugen, Starter-Generator und Fahrerwarnsystemen von Interesse.

Gedankt sei an dieser Stelle Herrn Dr. Wolfgang Staiger und der DaimlerChrysler AG für die Zusammenarbeit in diesem Projekt.

Literatur:

- [1] Föll, A.; Müller, M.; Martin, B.; Pandit, M.; Weber, M.: Predictive Gear Scheduling – Funktionsweise von prädiktiv geregelten Schaltprogrammen mit Berücksichtigung von Fahrzeugumfelddaten, VDI Berichte Nr. 1610, 2001, S. 417-436
- [2] Müller, M.; Laub, H.; Reif, M.; Pandit, M.; Staiger, W.; Schmitfranz, B.-H.: Stochastic Processes and Speed Prediction for Simulations of a Gear Shift Assistance System, Proceedings of the 9th EAEC International Congress, 16.-18.06.2003, Paris, 12 Seiten
- [3] Bösch, P.: Der Fahrer als Regler, Dissertation, Technische Universität Wien, 1991

Ein Vergleich zwischen einem FxLMS- und einem Störgrößenbeobachteransatz zur aktiven Kompensation motorerregter Schwingungen im Kraftfahrzeug

Konrad Kowalczyk *

* Institut für Systemdynamik und Flugmechanik
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg
Tel.: 089-6004 3580
Fax : 089-6004 2082
Email: konrad.kowalczyk@unibw-muenchen.de

Ferdinand Svaricek **

** Institut für Systemdynamik und Flugmechanik
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg
Tel. : 089-6004 2077
Fax: 089-6004 2082
Email: ferdinand.svaricek@unibw-muenchen.de

Schlüsselwörter: Aktive Schwingungskompensation, Adaptive Steuerung, Zustandsrückführung, Störgrößenbeobachter.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit zwei verschiedenen Ansätzen zur aktiven Kompensation periodischer Schwingungen in Kraftfahrzeugen. Auf der einen Seite sind adaptive Steuerungen als Stand der Technik bekannt [1,2]. Diese auch in der Praxis erfolgreich eingesetzten Verfahren [3] weisen allerdings einige Nachteile auf: Es sind zwei Sensoren notwendig, eine optimal Einstellung der Adaptionparametern ist schwer zu erreichen und das Konvergenzverhalten ist im Vergleich zur Störgrößendynamik langsam.

Auf der anderen Seite ist auch der Einsatz von Regelungsstrukturen möglich. Eine Strategie kann hier eine Zustandsrückführung mit Störgrößenbeobachter [4] sein. Bei diesem Ansatz können allerdings Spillover-Effekte auftreten und der Rechenzeitbedarf ist vergleichsweise hoch. Darüber hinaus muß auch die Empfindlichkeit gegenüber Modellierungsfehlern berücksichtigt werden.

Beide Ansätze zur aktiven Schwingungskompensation wurden in einem Fahrzeug erprobt. Im Vortrag werden die Entwurfsmethoden vorgestellt und Vor- und Nachteile anhand experimentale Ergebnisse diskutiert.

Literatur:

- [1] Kuo, S. M., D. M. Morgan: *Active Noise Control Systems*. New York: John Wiley and Sons, 1996.
- [2] Preumont, A. *Vibration Control of Active Structures. 2nd Edition*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002
- [3] Svaricek, F., C. Bohn, H.-J. Karkosch, V. Härtel: Aktive Schwingungskompensation im Kfz aus regelungstechnischer Sicht. *Automatisierungstechnik* 49 (2001). Oldenburg Verlag
- [4] Bohn, C., A. Cortabarría, V. Härtel, K. Kowalczyk: Active Control of Structure-Borne Engine Noise in Automotive Vehicles Using Disturbance Observer Gain Scheduling. *Control Engineering Practice*. (to appear)

Robustheit und Identifizierbarkeit komplexer biologischer Regelsysteme

Jörg Stelling *

Ernst Dieter Gilles *

* Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme
Sandtorstr. 1
D-39106 Magdeburg

Tel. 0391-6100-475
Fax 0391-6110-503
stelling@mpi-magdeburg.mpg.de

Tel. 0391-6100-451
Fax 0391-6110-453
gilles@mpi-magdeburg.mpg.de

Schlüsselwörter: Robustheit, Identifizierbarkeit, Biologische Regulationsnetzwerke

Die Komplexität hochentwickelter technischer Systeme resultiert ebenso wie diejenige biologischer Systeme wahrscheinlich zu einem erheblichen Teil aus den Anforderungen, die an die Robustheit der Systeme gestellt werden [1]. Für das „Reverse Engineering“ komplexer dynamischer Systeme kann diese Struktureigenschaft jedoch zu erheblichen Problemen führen, da sie die Identifizierbarkeit beeinträchtigt. Im Bereich der biologischen Systeme existieren zusätzliche Herausforderungen durch eine geringe Anzahl messbarer, bzw. nur ungenau bestimmbarer Systemgrößen, sowie durch unvollständiges Wissen über die Struktur z.B. von Netzwerken der zellulären Regulation. Vor diesem Hintergrund sollen hier anhand der Zellzyklusregulation in Hefe Strategien für die Systemidentifikation diskutiert werden.

Zellproliferation erfordert Wachstum und Teilung. Im Gegensatz zum kontinuierlichen Wachstumsprozess besteht der Teilungszyklus höherer Zellen aus einer Sequenz distinkter Phasen, wobei der Beginn einer Phase von der erfolgreichen Beendigung der vorhergehenden Phase abhängt (Abbildung 1). Der Zellzyklus erfüllt damit die Funktion einer globalen Ablaufsteuerung. Auf molekularer Ebene werden Bildung, Modifikation und Abbau von „Master-Regulatoren“ simultan in Abhängigkeit von zellinternen und -externen Signalen kontrolliert.

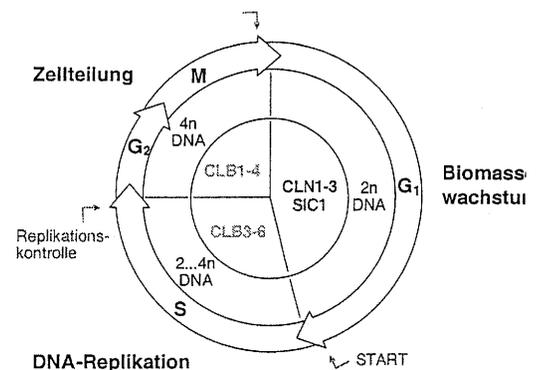


Abbildung 1: Phasen des Zellzyklus

In einem ersten Schritt wurden bekannte, und zum Teil notwendige hypothetische regulatorische Interaktionen auf der Mikroebene in modularen mathematischen Modellen abgebildet [2]. Das hier als Beispiel fungierende Modell für den Übergang von der G2 in die M Phase umfasst ca. 350 gewöhnliche Differentialgleichungen und ca. 240, zum überwiegenden Teil unbekannt kinetische Parameter. Nach Schätzung der Modellparameter auf der Basis experimenteller Daten wurden zunächst umfangreiche Studien zur Modellvalidierung durchgeführt. Dabei erwies sich das Modul sowohl hinsichtlich seiner deskriptiven, als auch bezüglich seiner prädiktiven Eigenschaften als eine gute Approximation des realen dynamischen Systems, was es erlaubte, eine detaillierte Modellanalyse mit Aussagekraft für das reale System durchführen zu können.

Um Aussagen über die Robustheit des Systems zu gewinnen wurden zunächst Simulationsstudien mit stochastischer Perturbation der Modellparameter durchgeführt. Dabei zeigte das Regulationsnetzwerk auch bei teilweisem Ausschalten redundanter Regelmechanismen ein äußerst robustes Verhalten bezüglich der physiologisch wichtigen

Schaltfunktion, als auch bezüglich ihrer detaillierten Dynamik. Analysen der Identifizierbarkeit beruhen auf der Bestimmung von Schätzgenauigkeiten der Modellparameter mit Hilfe von Parametersensitivitäten und deren Auswertung über die Fisher Informationsmatrix [3]. Die wenigen, der Parameterschätzung zugrunde liegenden experimentellen Daten wiesen einen überraschend hohen Informationsgehalt auf, da sich ungefähr die Hälfte der Modellparameter durch sie (innerhalb biologisch sinnvoller Fehlergrenzen) identifizieren ließ. Die Untersuchung unterschiedlicher Szenarien für eine Verbesserung der Identifikation verwies schließlich auf die Durchführung zusätzlicher Experimente zur Analyse des partiell gestörten Netzwerkes, und nicht auf die Einbeziehung weiterer Messgrößen oder Verbesserungen der Messgenauigkeit als eine erfolgversprechende Strategie zur detaillierteren Systemidentifikation. Insgesamt erscheint dadurch, auch für komplexe und robuste biologische Regelsysteme eine weitgehende Identifizierung auf der Basis relativ weniger, praktisch realisierbarer Experimente möglich.

Literatur:

- [1] Csete, M. E. & Doyle, J. C. Reverse engineering of biological complexity. *Science* **295**, 1664-1669 (2002).
- [2] Stelling, J., Kremling, A., Ginkel, M., Bettenbrock, K. & Gilles, E.D., Towards a Virtual Biological Laboratory. in: H. Kitano (ed.) *Foundations of Systems Biology*, (MIT Press, Cambridge, MA) pp. 189-212 (2001).
- [3] Stelling, J. & Gilles, E. D. Robustness vs. identifiability of regulatory modules? The case of mitotic control in budding yeast cell cycle regulation. *Proc. 2nd Intl. Conf. Systems Biol.*, Pasadena, USA, 181-190 (available at <http://www.icsb2001.org/toc.html>) (2001).

Prozessidentifikation basierter Entwurf beobachtergestützter Fehlerdetektionssysteme

P. Zhang

S.X. Ding

Fachgebiet Automatisierungstechnik und Komplexe Systeme (AKS)
Fakultät 5, Universität Duisburg-Essen
Bismarckstrasse 81, 47057 Duisburg

Tel.: 0203 379 4295

Tel.: 0203 379 3385

Fax: 0203 379 2928

Fax: 0203 379 2928

Email: p.zhang@uni-duisburg.de

Email: s.x.ding@uni-duisburg.de

Schlüsselwörter: Beobachtergestützte Fehlerdetektion, Parity-Space-Methode, Subspace-Verfahren

Unter einer Vielzahl von modellgestützten Fehlerdiagnoseverfahren haben die beobachtergestützten Methoden in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und werden zunehmend zur Fehlererkennung und -lokalisierung (FDI) angewandt. Kern eines beobachtergestützten FDI-Systems ist ein Ausgangsbeobachter, der die Aufgabe hat, analytische Redundanz zu bilden und ferner im Vergleich mit den Prozessausgangsgrößen die sogenannten Residuensignale zu generieren.

Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Verfahren zur Modellbildung: experimentelle Systemanalyse und theoretische Systemanalyse. In der Praxis, vor allem in der Prozessindustrie, erweist sich die experimentelle Systemanalyse auf Grund der Prozesskomplexität häufig als ein effektives Werkzeug zur Bildung des Prozessmodells. In den neunziger Jahren stand das sogenannte "Subspace"-Verfahren im Mittelpunkt der Forschung auf dem Gebiet der Prozessidentifikation, das ein effektives und leistungsfähiges Werkzeug zur Identifikation von Zustandsraummodellen geworden ist.

Wird in der Praxis eine Aufgabe zur beobachtergestützten Prozessüberwachung gestellt, so steht man vor zwei Themenkomplexen, nämlich Prozessidentifikation und Entwurf eines FDI-Systems. Schnittstelle zwischen diesen beiden ist Standardformen von Prozessmodellen, wie Abb.1 veranschaulicht.

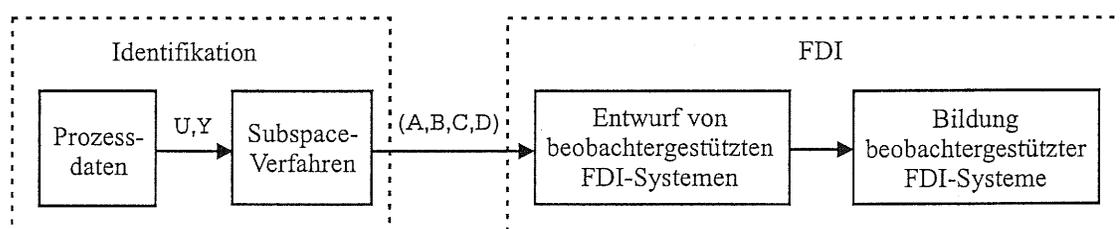


Abbildung 1: Vorgang der beobachtergestützten Prozessüberwachung

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Fragestellung: In wie fern kann man diese beiden Themenkomplexen zwecks Fehlerdiagnose vereinigen, so dass ein Ingenieur vor Ort ohne vertiefte Kenntnisse der Regelungstheorie ein FDI-System direkt aus Mess- oder Testdaten entwerfen kann? Diese Fragestellung wird stark motiviert durch eine Reihe von Beobachtungen, u.a. die vorhandene Anforderung aus der Industrie, die Realisierbarkeit unter dem regelungstechnischen Gesichtspunkt sowie strukturelle Ähnlichkeit zwischen dem Subspace-Verfahren und der sogenannten Parity-space-Methode, die oft zwecks Residuengenerierung angewandt wird. Eine weitere Motivation ergibt sich aus der Beobachtung, dass die sogenannte Hauptkomponentenanalyse (PCA), eine Datenverarbeitung

basierte Fehlerdiagnosemethode, in der Prozessindustrie eine wesentlich höhere Akzeptanz als die modellgestützten FDI-Verfahren genießt. Im Vergleich zu den modellgestützten FDI-Verfahren hat das PCA-Verfahren vor allem die Vorteile, dass die FDI auf einer intensiven Datenverarbeitung basiert und bei deren Anwendung keine spezifischen regelungstechnischen und mathematischen Kenntnisse vorausgesetzt werden. Um die Prozessdynamik bei dem PCA-Verfahren zu berücksichtigen, wurde in den vergangenen Jahren ein erweitertes PCA-Verfahren, als dynamische Hauptkomponentenanalyse (dynamic PCA, D-PCA) bezeichnet, entwickelt. Die Grundidee des D-PCA-Verfahrens besteht darin, einige Grundfunktionen des Subspace-Verfahrens in der PCA zu integrieren. Diese Beobachtung bestätigt das Vorhaben, einen direkten Weg von der Datenverarbeitung zum Entwurf beobachtergestützter FDI-Systeme zu finden, und ferner zeigt auf, dass die Lösung in einer Integration des Subspace-Verfahrens in den Entwurfsverfahren der beobachtergestützten FDI-Systeme liegen könnte. Diese Grundidee wird in Abb.2 veranschaulicht.

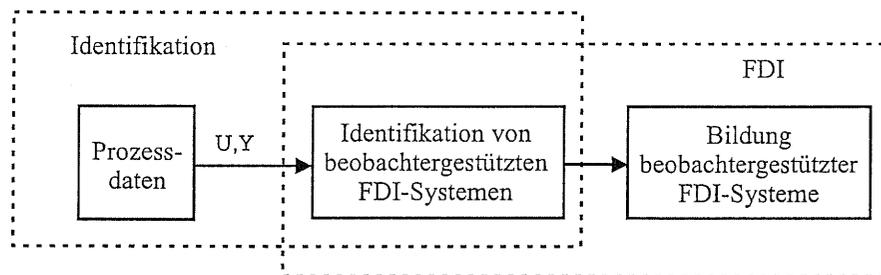


Abbildung 2: Grundidee des neuen Verfahrens

Im vorliegenden Beitrag wird ein Verfahren entwickelt, das einen Entwurf des beobachtergestützten FDI-Systems aus Prozessmess- oder -testdaten und ohne spezifische Kenntnisse der Regelungstheorie ermöglicht. Die Grundlage dafür ist das Subspace-Verfahren und ein Entwurfsverfahren für beobachtergestützte FDI-Systeme. Die Beschreibung des neuen Verfahrens erfolgt in zwei Teilen:

- Prozessidentifikation: Es wird hier ein Identifikationsvorgang vorgestellt, mit dem man ein Fehlerdetektion gerichtetes Modell bilden kann;
- Entwurf eines FDI-Systems auf der Basis des Modells.

Die wesentlichen Ergebnisse werden schließlich anhand eines Beispiels dokumentiert.

Literatur:

- [1] M. Basseville, I. Nikiforov: Detection of Abrupt Changes: Theory and Application. Prentice Hall, Information and System Sciences Series, New Jersey, 1993.
- [2] X. Ding, L. Guo, T. Jeansch: A characterization of parity space and its application to robust fault detection. IEEE Transactions on Automatic Control, 44(2), S. 337-343, 1999.
- [3] W. Favoreel, B. De Moor, P. Van Overschee: Subspace state space system identification for industrial processes. Journal of Process Control, 10, S. 149-155, 2000.
- [4] J. Wang, S.J. Qin: A new subspace identification approach based on principle component analysis. Journal of Process Control, 12, S. 841-855, 2002.
- [5] P.M. Frank: Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik, Automatisierungstechnik, 42(2), S. 47-64, 1994.
- [6] P.M. Frank, S.X. Ding: Survey of robust residual generation and evaluation methods in observer-based fault detection systems, Journal of Process Control, 6, S. 403-424, 1997.
- [7] R. Isermann: Überwachung und Fehlerdiagnose. VDI-Verlag, 1994.
- [8] R. Isermann: Modellgestützte Überwachung und Fehlerdiagnose technischer Systeme, Teil 1, Automatisierungstechnische Praxis 38(5), S. 9-20, 1996.
- [9] R.J. Patton, P.M. Frank, R.N. Clark: Issues of fault diagnosis for dynamic systems. Springer, London, 2000.

Identifikation und Prädiktive Prozessregelung beim Laserstrahlschweißen

Alexander Bollig*, Dirk Abel*

Stefan Mann**, Reinhart Poprawe**

* Institut für Regelungstechnik
RWTH Aachen
Steinbachstr. 54
Tel. 0241 / 80-27480
Fax 0241 / 80-22296
A.Bollig@irt.rwth-aachen.de

** Lehrstuhl für Lasertechnik
RWTH Aachen
Steinbachstr. 15
Tel. 0241 / 8906-321
Fax 0241 / 8906-121
Mann@ilt.fhg.de

Schlüsselwörter: Prädiktive Regelung, Identifikation, Künstliche Neuronale Netze, Laserstrahlschweißen

Das Schweißen mit Laserstrahlung stellt ein innovatives Fügeverfahren dar, welches in vielen Fertigungsbereichen aufgrund der hohen erreichbaren Schweißgeschwindigkeit und der hohen Qualität der Verbindung zunehmend eingesetzt wird. Der Stand der industriellen Anwendung ist gekennzeichnet von einer empirischen bzw. erfahrungsbasierten Prozessplanung und einer gesteuerten Prozessdurchführung, die mit unterschiedlichen Systemen zur Prozessüberwachung kontrolliert, aber nicht geregelt wird [1]. In dem Beitrag wird ein in [2] skizziertes Konzept zur Prozessregelung vorgestellt,

welches mit einem prädiktiven Mehrgrößenregler für die Einschweißtiefe d und die Nahtbreite w umgesetzt worden ist. Hierdurch ist das Wissen über relevante zukünftige Prozessgrößen (Sollwerte und Vorschubgeschwindigkeit v), die vorab in der Planung der Bearbeitung bestimmt werden, nutzbar.

Da ein solcher prädiktiver Regler ein Modell des zu regelnden Prozesses benötigt, wird zunächst ein nichtlineares approximatives analytisches Modell des Schweißprozesses vorgestellt. Zugrunde liegt ein dreidimensionales Wärmeleitungsproblem, wobei die Phasengrenzen zwischen den auftretenden festen, flüssigen und gasförmigen Phasen Bestandteil der Lösung sind. Selbst ein Modell, welches den Prozess nur approximativ beschreibt, ist für die Nutzung innerhalb des MPC zu komplex.

Daher wird auf eine einfachere Modellstruktur zurückgegriffen, die eine Identifikation sowohl eines aufwändigen analytischen Modells erlaubt als auch des realen Prozesses anhand von Schweißversuchen. Hierfür wird ein Künstliches Neuronales Netz (KNN) verwendet. Ein

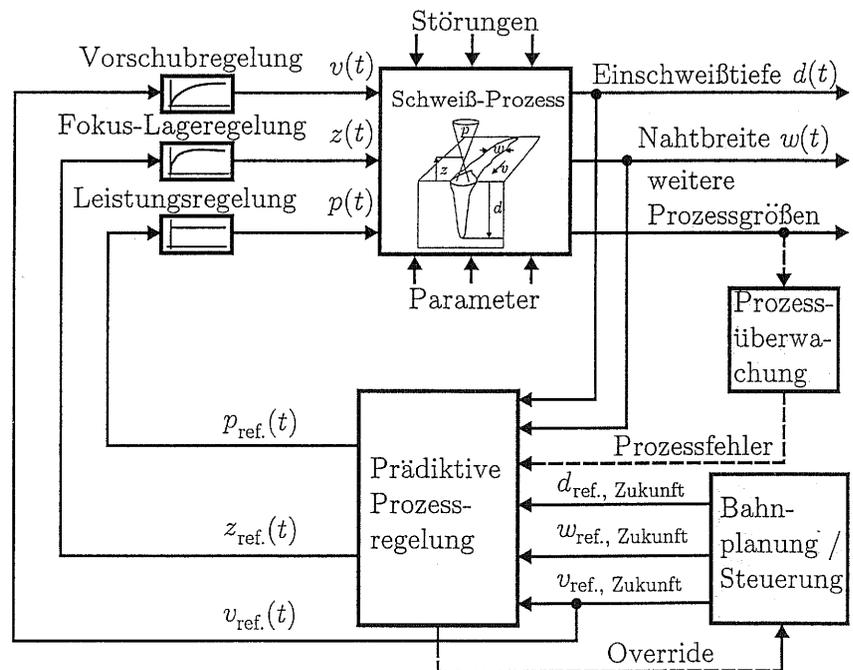


Abbildung 1: Konzept zur Prozessregelung

Das Schweißen mit Laserstrahlung stellt ein innovatives Fügeverfahren dar, welches in vielen Fertigungsbereichen aufgrund der hohen erreichbaren Schweißgeschwindigkeit und der hohen Qualität der Verbindung zunehmend eingesetzt wird. Der Stand der industriellen Anwendung ist gekennzeichnet von einer empirischen bzw. erfahrungsbasierten Prozessplanung und einer gesteuerten Prozessdurchführung, die mit unterschiedlichen Systemen zur Prozessüberwachung kontrolliert, aber nicht geregelt wird [1]. In dem Beitrag wird ein in [2] skizziertes Konzept zur Prozessregelung vorgestellt,

dynamisches MLP-Netz wird genutzt, in das neben den nichtlinearen Aktivierungsfunktionen ein linearisiertes Teilmodell M der approximativen Prozessbeschreibung integriert wird.

Durch eine Linearisierung kann das lokale Verhalten des KNN in Hinblick auf Übertragungsfaktoren und Stabilitätseigenschaften interpretiert werden. Es wird gezeigt, wie sich hieraus eine lokale Regularisierung für die Parameteroptimierung während der Identifikationsphase ableiten lässt, so dass neben dem durch die Identifikationsdaten vorgegebenen Eingangs-Ausgangs-Verhalten auch lokale Modelleigenschaften berücksichtigt werden.

Da die schnelle Dynamik des Schweißprozesses Abtastzeiten im Bereich weniger Millisekunden erfordert, wird für den prädiktiven Regler der GPC-Algorithmus mit einem linearen, zeitvarianten Modell verwendet, welches durch wiederholte Linearisierung des KNN in jedem Abtastschritt gewonnen wird.

Hierdurch werden die Vorteile der Optimierung bei linearem Prädiktor mit der Nachführung des nichtlinearen Modellverhaltens verbunden. Zur Berücksichtigung von Stellgrößenbegrenzungen wird der ONEDOF-Algorithmus nach [4] als Alternative zu klassischen QP-Lösern verwendet, um einen geringeren numerischen Aufwand zu erreichen.

Anhand von Simulationen mit dem approximativen analytischen Prozessmodell werden die Methoden zur Identifikation und Prädiktiven Regelung dargestellt. Ein Ausblick auf die Realisierung der Prozessregelung im Rahmen einer Autonomen Produktionszelle für das Laserstrahlschweißen wird gegeben, experimentellen Ergebnissen werden vorgestellt.

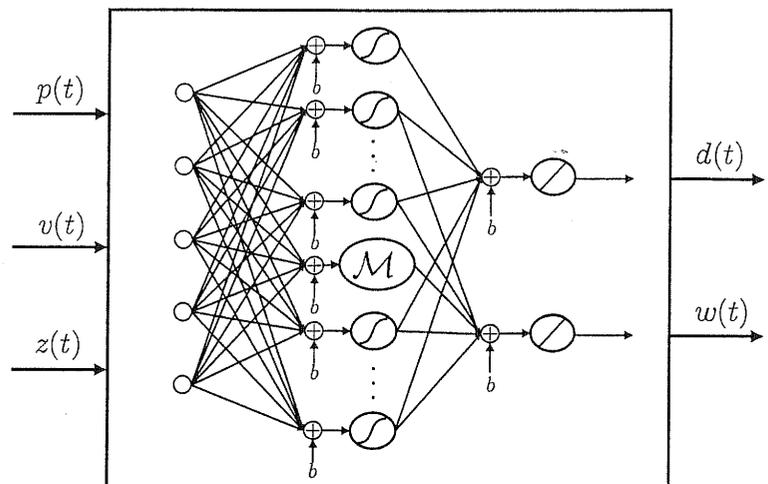


Abbildung 2: Struktur des Prozessmodells

Literatur:

- [1] Klinker, W.: *Laserschweißen revolutioniert den Karosseriebau*. Lasermarkt 2001 – Laser-Branchenführer 2001, b-Quadrat, 2001.
- [2] Mann, S., Bollig, A., Kaierle, S., Enning, M., Kreutz, E.W., Abel, D., Poprawe, R.: *Autonomous Production Cell for Laser Beam Welding*. Proceedings of the ICALEO, 2003.
- [3] Bollig, A.: *Prädiktive Regelung mit Neuronalen Netzen*. at - Automatisierungstechnik, 51(2): 69 - 77, 2003.
- [4] Rossiter, J.A., Rice, M.J., Schuurmanns, J., Kouvaritakis, B.: *A computationally efficient constrained predictive control law*. Proceedings of the ACC, 1998.

Strukturvariable multisensorielle Überwachung und Regelung von Mensch-Roboter-Systemen

K. Giesen, G. Milighetti, Ch. W. Frey, H.-B. Kuntze
Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB
Fraunhoferstraße 1, 76131 Karlsruhe
Tel.: +49-721-6091-430, Fax: +49-721-6091-413, E-Mail: giesen@iitb.fraunhofer.de

Schlüsselwörter: multisensorielle Überwachung von Robotern, Diagnose, strukturvariable Regelung, Mode-Selector, Mensch-Roboter-System

Komplexe Aufgabenstellungen für Roboter im Fertigungsumfeld oder im privaten Umfeld des Menschen bestehen in der Regel aus einer Folge physikalisch sehr unterschiedlicher Bewegungsphasen und werden zukünftig immer häufiger eine physikalische Kooperation von Roboter und Benutzer zur Lösung einer Aufgabe erfordern. Die daraus resultierenden Bewegungsabläufe des Roboters bestehen aus Sequenzen von Teilaufgaben, die jeweils phasenspezifische parametrisch oder strukturell sehr unterschiedliche Regelungs- und Überwachungskonzepte mit jeweils unterschiedlichen Sensoren und Aktuatoren erfordern. Eine freie Punkt-zu-Punkt-Bewegung erfordert z. B. einen völlig anderen Regelungsalgorithmus als eine kraftschlüssige Bahnbewegung auf einem Werkstück oder ein Fügevorgang mit Kraft-Momentensensoren. Bei Aufgaben, die eine Kooperation von Roboter und Mensch erfordern, werden zusätzlich besondere Anforderungen an die Sicherheitseinrichtungen der Roboter gestellt. Um die Unversehrtheit des Benutzers gewährleisten zu können, müssen alle Bewegungsphasen des Roboters überwacht und das Auftreten von Fehlern, z. B. Achsausfall, Kollisionen oder Verlust eines Werkstücks, detektiert werden. Durch intelligente Anpassung der Regelung oder Änderung der Aufgabenstellung kann der Roboter, ohne Gefährdung von Benutzer oder Umgebung, weiter betrieben werden.

Zur Lösung der gestellten Anforderungen wird am IITB gegenwärtig ein strukturvariables multisensorielles Überwachungs- und Regelungskonzept entwickelt [1]. Das hierarchisch strukturierte Überwachungs- und Regelungskonzept (siehe *Abbildung 1*) beruht auf der Zerlegung einer komplexen kartesischen Regelungsaufgabe in eine Sequenz einfacherer, bewegungsphasenspezifischer Regelungsprobleme.

In der oberen Regelungs-Ebene wird die aktuelle Bewegungsphase bzw. ein aufgetretener Fehler mit Hilfe einer Neuro-Fuzzy basierten Multi-Sensor-Diagnose identifiziert [2]. Darauf folgt eine heuristische Fuzzy-basierte Entscheidung (Fuzzy-Mode-Selektor) und eine Aktivierung eines geeigneten phasenspezifischen Teilreglers. Die Neuro-Fuzzy basierte Diagnose setzt sich aus zwei aufeinander folgenden Schritten zusammen – der Merkmalsgenerierung und der Merkmalsauswertung.

Die Merkmalsgenerierung dient zur Aufbereitung der gemessenen Sensorsignale. Aus den verfügbaren Signalen (z. B. Achspositionen und -geschwindigkeiten, Kraft-Momentenvektor im Handgelenk) werden phasen- und fehler-charakteristische Informationen extrahiert und zu einem Merkmalsvektor zusammengefasst. Hierzu werden sowohl signalbasierte als auch modellbasierte Methoden verwendet [1].

Bei der anschließenden Merkmalsauswertung wird durch einen logischen Entscheidungsprozess ermittelt, ob und zu welchem Zeitpunkt sich der Roboter in einer bestimmten Bewegungsphase befindet oder ein Fehler aufgetreten ist. Hierzu wird der Neuro-Fuzzy-Ansatz NEFCLASS (Neuro-Fuzzy-CLASSifikation) genutzt [3]. Das hybride Neuro-Fuzzy-Modell basiert auf dem generischen Modell eines dreischichtigen FL-Perceptrons, dessen Verhalten in Form von linguistischen Regeln interpretiert werden kann.

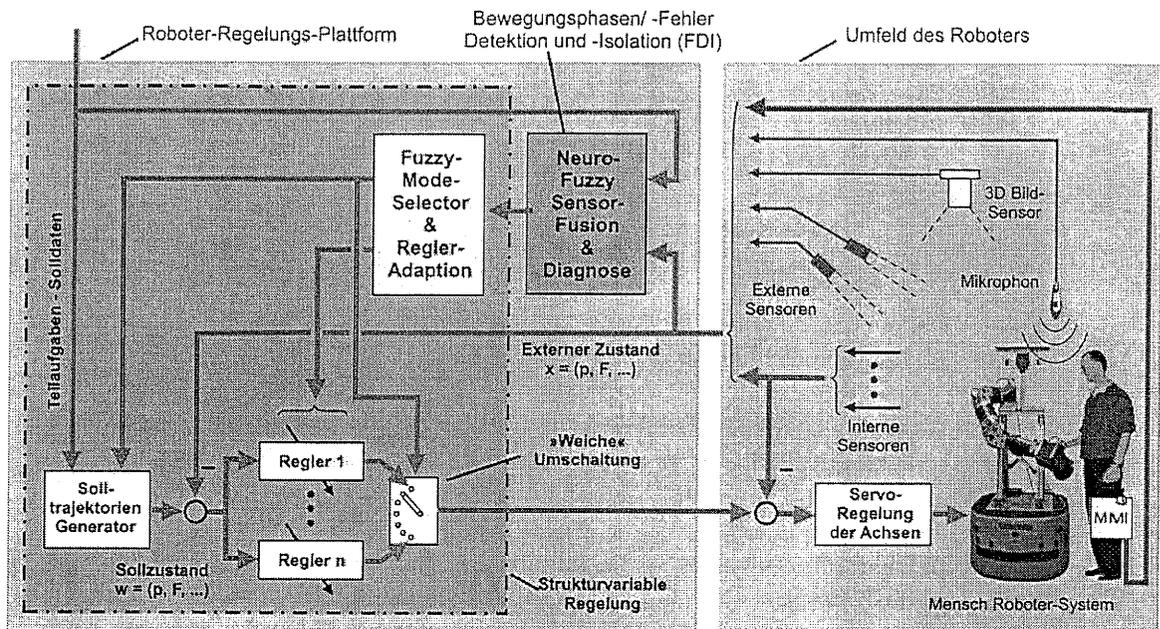


Abbildung 1: Schema der strukturvariablen multisensoriellen Überwachung und Regelung

Die untere Regelungs-Ebene hält verschiedene bewegungsphasenspezifisch optimierte Teilregler (z. B. Positions-, Kraft- und Impedanzregler) bereit. Diese Teilregler können prinzipiell jede beliebige Struktur haben (z. B. Fuzzy-Regler, modellbasierte oder PID-Regler). In Abhängigkeit von der identifizierten Bewegungsphase wird der für die aktuelle Situation am besten geeignete Teilregler vom Fuzzy-Mode-Selector ausgewählt und durch eine „weiche“ (stoßfreie) Umschaltung zwischen verschiedenen Reglern aktiviert bzw. deaktiviert. Ein Ereignis, bei dem eine Umschaltung zwischen verschiedenen Reglern erforderlich wird, ist beispielsweise die Kontaktnahme des Roboters mit einem Objekt. Hier muss von einer positionsgeregelten freien Bewegung zu einer hybriden Kraft-Positions-Regelung umgeschaltet werden.

Neben einer Simulations-Plattform stehen für experimentelle Untersuchungen des strukturvariablen Überwachungs- und Regelungskonzeptes am IITB eine humanoide Roboter-Plattform zur Verfügung. Sie besteht aus einem 7-achsigen Arm, der mit einem 2-Finger-Greifer, einem Kraft-Momenten-Sensor und einem 3D-Lichtschnittsensor ausgerüstet ist. Zusätzlich ist ein 2-achsiger Sensorkopf mit einer Stereokamera und einem Mikrophon-Array zur Überwachung des Roboters vorhanden. Die Untersuchung und Erprobung der strukturvariablen multisensoriellen Überwachung und Regelung des Mensch-Roboter-Systems anhand von Fallbeispielen ist Gegenstand laufender Arbeiten.

Literatur:

- [1] Kuntze, H.-B., Frey, Ch., Giesen, K., Milighetti, G., "On a Smart Structure Variable Supervisory Control Concept for Humanoid Robots", Proceedings 3rd IEEE International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2003), Karlsruhe/Munich, October 1-3, 2003
- [2] Frey, Ch. W., Kuntze, H.-B., Giesen, K., "A Neuro-Fuzzy based fault tolerant Control Concept for smart Multy-Sensory Robots", Proceedings SAFEPROCESS Conference, Washington D.C., USA, 9.-11.6.2003
- [3] Frey, C.W., Kuntze, H.-B., "A neuro-fuzzy supervisory control system for industrial batch processes", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 9 (2001) No. 4, August, pp. 570-577

PixelSLAM - Ein scanbasierter Ansatz zur exploratorischen Navigation mobiler Systeme in unstrukturierten Outdoor-Umgebungen

Christian Brenneke

Institut für Systems Engineering / Fachgebiet Echtzeitsysteme
Universität Hannover

Telefon: +49-(0)511-762-19898

Telefax: +49-(0)511-762-4012

E-Mail: brenneke@rts.uni-hannover.de

Schlüsselwörter: autonome Navigation, SLAM, Lokalisation und Umweltmodellierung

Die autonome Navigation von Servicerobotern in zuvor unbekanntem und beliebig unstrukturierten Umgebungen außerhalb von Gebäuden ist gegenwärtig ein weitgehend ungelöstes Problem. Ein möglicher Lösungsansatz basiert auf der Modellierung der Umgebung durch die Integration und Fusion visueller Umgebungsdaten eines Laserscanners mit Messdaten ergänzender Sensoren. Dieses selbst generierte Umweltmodell dient als Grundlage für zahlreiche Navigationsaufgaben. Als Orientierungspunkte stehen dem Roboter dabei ausschließlich natürliche Landmarken der Umgebung zur Verfügung, wie z.B. Bäume oder Büsche. Die Verwendung zusätzlicher Infrastrukturen, wie Funkbaken oder Reflektoren, soll aufgrund der zeitintensiven und nicht immer möglichen Vorbereitung des Arbeitsraumes, sowie der starken Einschränkung der Flexibilität, in jedem Fall vermieden werden.

Die Anforderungen durch Umwelteinflüsse und -bedingungen, mit denen das Navigationssystem im Outdoor-Bereich konfrontiert wird, sind nach wie vor eine große Herausforderung für die Forschung. Im Gegensatz zu Umgebungen innerhalb von Gebäuden existieren hier keine klar strukturierten Geometrien, wie Raumecken, Türen oder Wände. Die zur Verfügung stehenden natürlichen Landmarken besitzen sehr unterschiedliche Oberflächenstrukturen und -formen und lassen sich nur durch sehr komplexe mathematische Modelle eindeutig beschreiben. Zudem sind sie deutlich facettenreicher als innerhalb von Gebäuden. Darüber hinaus kann die Bodenbeschaffenheit nicht mehr als eben und die Beleuchtung nicht mehr als konstant angenommen werden.

Bisher in der Literatur vorgestellte Ansätze zur Navigation in dieser Art von Umgebungen fokussieren sich auf die Teilaufgaben Lokalisation und Umweltmodellierung. Hier existieren erste Verfahren die zwar in zuvor unbekanntem, aber nicht beliebig unstrukturierten Umgebungen funktionieren. Sie beschränken sich auf Einsatzgebiete, in denen nur eine bestimmte Klasse natürlicher Landmarken, wie z.B. Bäume (vgl. [1],[2]) oder Mauern (vgl. [3]) vorkommen. Diese lassen sich durch einfache mathematische Modelle hinreichend beschreiben und können mit Hilfe der verwendeten Sensoren eindeutig erkannt, klassifiziert und für die Navigation verwendet werden. Durch die ausschließliche Unterstützung dieser speziellen Klasse von Geometrien ergibt sich aber eine Abhängigkeit von einzelnen Strukturen, mit der die Flexibilität des Navigationssystems wiederum stark eingeschränkt wird. Bereiche, in denen die benötigten natürlichen Landmarken nicht vorkommen, können für die autonome Navigation von dem Serviceroboter nicht genutzt werden. Die Anforderungen an ein flexibles und universell einsetzbares Navigationssystem werden somit nicht hinreichend erfüllt.

In diesem Beitrag wird PixelSLAM, ein scanbasierter Ansatz zur gleichzeitigen Lokalisation und Umweltmodellierung vorgestellt. Dieser Algorithmus verzichtet auf die explizite Klassifikation einzelner Objekte, so dass die Navigation unabhängig von der Art und Struktur natürlicher Landmarken in nahezu jeder beliebigen Umgebung außerhalb von Gebäuden ermög-

licht wird [4]. Jeder in der Umgebung aufgenommene Laserscan wird als partieller Ausschnitt einer ganzheitlichen Umgebungskarte betrachtet. Somit kann durch die Überlagerung aller integrierten Scans der gesamte Arbeitsraum als zweidimensionale Umgebungskarte repräsentiert werden (siehe Abbildung 1). Auf diese Weise müssen keine Restriktionen an die Art und Kontur der natürlichen Landmarken einer Umgebung gestellt werden. Alle Objekte werden geometrisch exakt in der selbst generierten Karte abgebildet.

Zahlreiche experimentelle Ergebnisse des implementierten Verfahrens zeigen dessen Leistungsfähigkeit für Fragestellungen wie Konvergenz, Konsistenz und die Begrenztheit des angenommenen Fehlers, sowie für die speziell mit diesem Verfahren erreichte hohe Flexibilität bei gleichzeitig hoher Genauigkeit und geometrischer Korrektheit einzelner natürlicher Landmarken. Mit PixelSLAM steht ein Verfahren zur Verfügung, mit dem die Arbeitsumgebung eines autonomen Roboters modelliert und dessen Position innerhalb des Modells sowohl relativ zur Karte, als auch in absoluten Weltkoordinaten, während der Fahrt bestimmt werden kann [5].

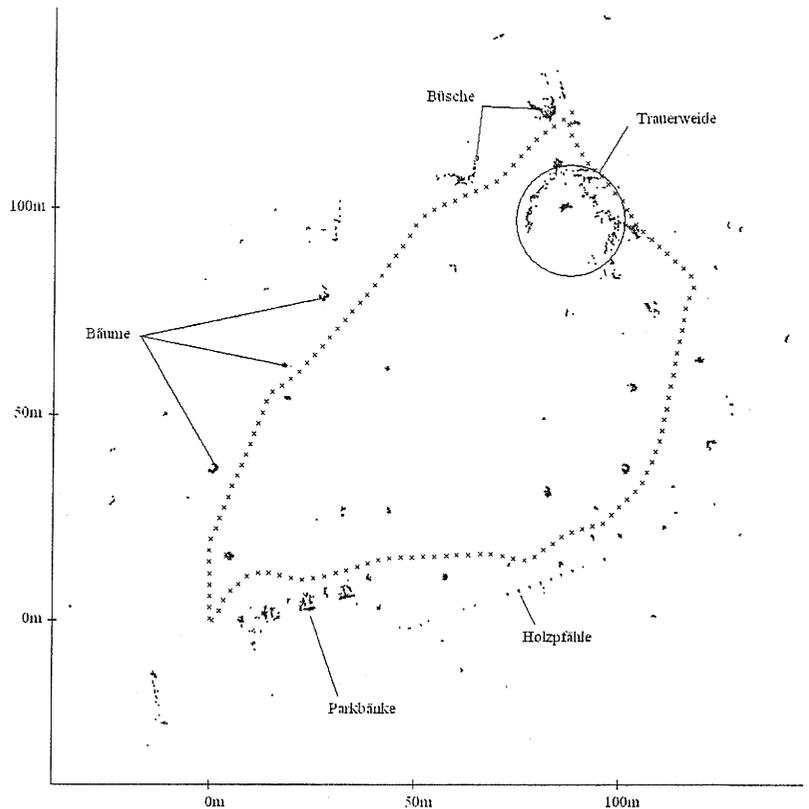


Abbildung 1: Während der Fahrt generiertes Umweltmodell

Alle in diesem Beitrag vorgestellten Verfahren wurden auf einem Echtzeitbetriebssystem implementiert und getestet. Integriert auf einem Onboard-PC wird das autonome Navigationssystem auf verschiedenen am Institut für Systems Engineering vorhandenen mobilen Service Robotern eingesetzt, so dass zahlreiche experimentelle Ergebnisse von Messfahrten in realen unstrukturierten Umgebungen außerhalb von Gebäuden präsentiert werden können.

Literatur:

- [1] Guivant, J; Nebot, E; Durrant-Whyte, HF: "Simultaneous localization and map building using natural features in outdoor environments.", 6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems 6 (IAS-6), Venice, Italy, July 2000.
- [2] Guivant, J.; Masson, F.; and Nebot, E.: "Simultaneous localization and map building using natural features and absolute information.", Journal of Robotics and Autonomous Systems, vol 40, pp.69-90, August 2002.
- [3] Röfer, T.: "Using Histogram Correlation to Create Consistent Laser Scan Maps.", International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Lausanne, Swiss, October 2002.
- [4] Brenneke, C.; Wagner, B.: "A scan based navigation system for autonomous operation of mobile robots in man-made environments.", 16th International Conference on Systems Engineering (ICSE), Coventry, United Kingdom, September 2003.
- [5] Brenneke, C.; Wulf, O.; Wagner, B.: „Using 3D laser range data for SLAM in outdoor environments.“, International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Las Vegas, USA, October 2003.

Anwendungsaspekte von Robustheitskriterien im Frequenzbereich

Jörg Schmuck *

* Lehrstuhl Regelungssysteme und Leittechnik
BTU Cottbus
Postfach 101344, 03013 Cottbus
Tel. 0355/694352
Fax 0355/692453
schmuck@tu-cottbus.de

Schlüsselwörter: Robuste Regelung, Frequenzbereichskriterien, resultierende Strecken.

Der Beitrag behandelt eine Form der praktischen Umsetzung von bekannten Frequenzbereichskriterien für robuste Stabilität und Regelverhalten, die Anfang der 90er Jahre abgeleitet wurden [1]. In modifizierter Form liegt das Kriterium (1) einer Variante des H_∞ -Entwurfs (Mixed-Sensitivity-Problem) zugrunde. Hier soll die Bereitstellung der Vorgaben für die Kriterien und ihre Auswertung ohne Optimierung anwendungsorientiert besprochen werden.

Bezeichnet \tilde{S} die Empfindlichkeitsfunktion und \tilde{T} die komplementäre Empfindlichkeitsfunktion (Führungsübertragungsfunktion) des nominellen, stabilen Regelkreises, so wird für eine Eingrößenregelstrecke mit einer multiplikativen und durch W_2 betragsmäßig begrenzten Unbestimmtheit robuste Stabilität und Einhaltung der durch W_1 formulierten Performance-Forderung erreicht, wenn gilt

$$\left\| |W_1 \tilde{S}| + |W_2 \tilde{T}| \right\|_\infty < 1. \quad (1)$$

Mit der Erfüllung des folgenden Kriteriums wird außerdem gesichert, dass der Betrag des Führungsfrequenzganges eine konstante Grenze \hat{T} nicht überschreitet.

$$\left\| \frac{\tilde{T}}{\hat{T}} \cdot \frac{1 + |W_2|}{1 - |W_2 \tilde{T}|} \right\|_\infty < 1 \quad (2)$$

Liegt die Sprungantwort einer stabilen Regelstrecke mit Ausgleich in diskreten Abtastwerten vor, lässt sich unabhängig von der Streckenordnung ein PT_1 -Glied als nominelle Regelstrecke berechnen. Eventuelles Überschwingen und Verzögerungen sowie Abhängigkeiten vom Arbeitspunkt werden durch einen frequenzabhängigen Fehler berücksichtigt, der als Wichtungsfunktion W_2 die maximale Unbestimmtheit betragsmäßig beschreibt. Kern dieser Modellierungsmethode ist das Näherungsverfahren zur Berechnung des Frequenzganges aus der Sprungantwort [2].

Bei der Vorgabe des Regelverhaltens lassen sich durch W_1 Forderungen bezüglich Einschwingzeit und bleibender Regelabweichung formulieren. Die Begrenzung des Überschwingens der Sprungantwort soll hier außerdem durch die Einhaltung eines maximalen Betrages \hat{T} des Führungsfrequenzganges erreicht werden. Die Bestimmung von W_1 und \hat{T} beruht wiederum auf dem oben genannten Näherungsverfahren ohne Annahme eines bestimmten Übertragungsfunktionsmodells für den Regelkreis. Die für die Einhaltung der Kriterien notwendigen Zusammenhänge zwischen W_1 , \hat{T} einerseits und W_2 andererseits werden angegeben, d.h. welches Regelverhalten ist bei einer vorliegenden Unbestimmtheit vorgebar bzw. welche Unbestimmtheit ist für ein zu erreichendes Regelverhalten zulässig. Die Möglichkeiten der Vorgaben und das erreichbare Regelkreisverhalten werden mit gebräuchlichen Einstellregeln verglichen.

Die Auswertung der Kriterien erfolgt grafisch. Unter Annahme einer bestimmten Reglerstruktur (z.B. PI) werden alle Kombinationen der Reglerparameter aus einem vorgegebenen Bereich dargestellt, für die die Kriterien erfüllt werden. Dieses Vorgehen entspricht insofern dem Parameterraumverfahren [3], unterscheidet sich jedoch dadurch, dass die Grenze des "Stabilitäts"-Gebietes hier nicht analytisch in die Parameterebene abgebildet wird. Mit einem in MATLAB realisierten Programm wird die Einhaltung der Kriterien vielmehr punktweise ermittelt (s. Abb. 1).

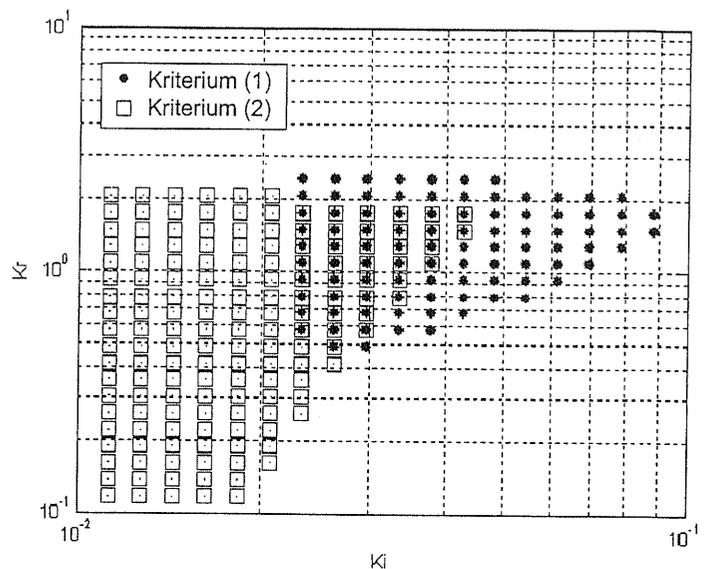


Abbildung 1: Auswertung der Kriterien

Der eigentliche Entwurf ist die Auswahl einer Parameterkombination, die beide Kriterien und ggf. weitere Anforderungen erfüllt.

Über den Entwurf robuster Regelungen hinaus gehend, lässt sich das gleiche Verfahren auch für den praktischen Entwurf von Zweigrößenregelungen verwenden. Wird die Reglermatrix als diagonal angesetzt, lassen sich aus Sicht jedes Diagonalelementes (Hauptregler) die Teilregelstrecken mit dem jeweils anderen Hauptregler zu einer resultierenden Strecke vereinigen. Wegen der strukturellen Ähnlichkeit beider Ausdrücke kann man die resultierende Strecke G_i als nominelle Strecke mit multiplikativer Unbestimmtheit auffassen:

$$G_i = G_{ii} \cdot (1 - C \cdot T_j) = \tilde{G}_i \cdot (1 + W_{2i} \cdot \Delta_i) \quad (3)$$

mit
$$G = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{pmatrix}, \quad R = \begin{pmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{pmatrix}, \quad C = \frac{G_{12} \cdot G_{21}}{G_{11} \cdot G_{22}}, \quad T_i = \frac{R_i G_{ii}}{1 + R_i G_{ii}}$$

und
$$\tilde{G}_i = G_{ii}, \quad W_{2i} = -C \cdot \hat{T}_j, \quad \Delta_i = \frac{T_j}{\hat{T}_j}, \quad i, j \in [1, 2], \quad i \neq j.$$

Die unbekannte, aber stabile und betragsmäßig begrenzte Störung Δ_i entspricht dem jeweils anderen Hauptregelkreis ohne Kopplung, und die Wichtungsfunktion W_{2i} gibt den Einfluss der Kopplung wieder. Für die Gültigkeit des Ansatzes müssen bestimmte Bedingungen erfüllt sein, insbesondere darf die statische Kopplung eine bestimmte Grenze nicht überschreiten. Eine statische Entkopplung kann deswegen ggf. erforderlich sein. Da der jeweils andere Hauptregler nur im maximalen Betrag des Führungsfrequenzganges berücksichtigt werden und darüber hinaus nicht bekannt sein muss, entfällt durch diesen Ansatz der sonst notwendige iterative, wechselseitige Entwurf der beiden Hauptregler.

Literatur:

- [1] J. C. Doyle, B. A. Francis, A. R. Tannenbaum: Feedback Control Theory. Macmillan Publishing Company, New York, 1992
- [2] H. Unbehauen: Regelungstechnik I. Vieweg, Braunschweig, 12. Aufl. 2002
- [3] J. Ackermann, P. Blue, T. Bünte, L. Güvenc, D. Kaesbauer, M. Kordt, M. Muhler und D. Odenthal, Robust Control: The Parameter Space Approach. Springer, London, 2002.

Robust Decentralized Low-Order Control of a HVDC Transmission Link

A. Farag

Technische Universität Hamburg-Harburg

Arbeitsbereich Regelungstechnik

a.farag@tu-harburg.de

In many practical control problems, the structure of admissible controllers is restricted, e.g. by an upper bound on the controller order or by constraints on the information that is available for feedback in each loop. Another important issue is the robustness of the control system. Designing fixed-structure robust controllers is a difficult, non-convex problem. Two ways of addressing this problem will be presented and illustrated with an industrial application; this work extends previous results on full-order robust controller design [4, 3].

The first approach is to transform the design problem into an equivalent static output feedback problem, and to execute an iterative algorithm that constructs a sequence of decentralized controllers which minimize an upper bound on the worst-case closed-loop H_2 norm. Each iteration step consists of solving an LMI problem. It is demonstrated that the conservatism of a related, previously published method for static output feedback [2] can be significantly reduced. A procedure for finding a required initial stabilizing controller is also presented.

The second approach is based on a combination of Riccati solvers and Genetic Algorithms (GA). The idea is to split the design problem in two parts: a convex part that can involve a large number of decision variables and is solved efficiently by solving an algebraic Riccati equation, and a non-convex part that involves a small number of decision variables and is solved by GA. The rationale for doing this is to let a fast Riccati solver take care of the large convex part of the problem, and to let GA - which may be unreliable for a large number of decision variables - deal with the smaller non-convex part.

To illustrate the proposed methods, they are applied to an industrial problem: control of a high voltage direct current (HVDC) transmission link. HVDC systems are used in electrical power grids as a supplement to AC transmission. A two-input two-output non-linear state space model for such a plant was presented in [1]. The controlled outputs are the direct current I_{DC1} on the rectifier side and the direct voltage V_{DC2} on the inverter side, control inputs u_1 and u_2 are excursion in firing angles. The high dynamic order (35 state variables) reflects the large number of passive elements. This model has been linearized in 50 different operating points representing a wide range of operating conditions, and was

extensively validated against nonlinear EMTDC simulation. The objective is to design a controller that achieves under all admissible operating conditions a fast response to command step changes with little overshoot and little cross-coupling between channels. Moreover, the controller must be low-order and use only the information available on one side of the DC link for local feedback, i.e. measurement of I_{DC1} is used to generate u_1 and measurement of V_{DC2} for u_2 .

Literatur

- [1] M. Aten, K. Abbott, and N. Jenkins. Developments in modelling and analysis of HVDC control systems. In *Proc. EPE 2001 Conference*, Graz, Austria, 2001.
- [2] C.A.R. Crusius and A. Trofino. Sufficient LMI conditions for output feedback control problems. *IEEE Trans. Automatic Control*, 44(5):1053, 1999.
- [3] A. Farag, M. Durrant, H. Werner, and K. Abbot. Robust control of a VSC HVDC terminal attached to a weak AC system. In *Proc. IEEE Conference on Control Applications*, Istanbul, Turkey, 2003.
- [4] A. Farag and H. Werner. A design procedure for robust H_2 control using a multiplier approach. In *Proc. European Control Conference ECC*, Cambridge, UK, 2003.

Steuerung des Eisenbahnbetriebes mittels Optimierung mit Genetischen Algorithmen

Stefan Wegele, Eckehard Schnieder

Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik
TU Braunschweig
Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig
Tel. 0531 / 391 3317
Fax 0531 / 391 5197
Email {wegele | schnieder}@iva.ing.tu-bs.de

Schlüsselwörter: Genetische Algorithmen, Disposition, Eisenbahn

Der Eisenbahntransportprozess lässt sich als eine kontinuierlich-diskrete Regelungsstrecke auffassen. Dessen Steuerung wird bei der Eisenbahn in zwei fast unabhängige konsekutive Teile zerlegt:

1. Erstellung eines möglichst robusten Fahrplans, der als Führungsgröße für den zweiten Teil dient.
2. Disposition, die eine möglichst geringe Abweichung der realen Prozesses von der Führungsgröße erreichen soll (s. Abbildung 1).

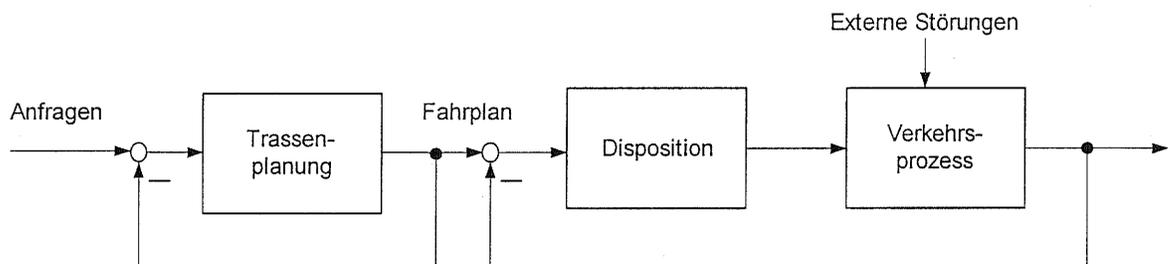


Abbildung 1. Regelung des Verkehrsprozesses

Die Anzahl der Transportdienstleistungen durch die Deutsche Bahn ist in den letzten Jahrzehnten stetig gewachsen, eine weitere Steigerung wird gewünscht.

Die Steuerung dieses immer komplexer werdenden Systems erfolgt heutzutage überwiegend durch menschliche Planer bzw. Disponenten. Durch die daraus resultierenden langen Vorlaufzeiten und relativ geringe Pünktlichkeit verliert die Bahn im Konkurrenzkampf gegen die Straße. Ziel unserer Arbeit ist dem entsprechend die Entwicklung eines Algorithmus zur automatischen Trassenplanung, der sowohl in der Trassenplanungsphase als auch in der Disposition einsetzbar wäre.

In beiden Fällen sollen ähnliche Qualitätskriterien erfüllt werden. Diese lassen sich als eine Optimierungsaufgabe darstellen:

$$\{ \text{Abweichungen von den Fahrplanwünschen} \} \longrightarrow \min$$

Diese Aufgabe lässt sich verallgemeinern für beide Anwendungsfälle mit Hilfe einer Straffunktion, die Abweichungen von den gewünschten Ankunftsintervallen der Züge bestraft.

Als Freiheitsgrade für die Lösung stehen typische Dispositionsmaßnahmen zur Verfügung: zusätzliche Wartezeiten, Variation der Fahrwege in den Bahnhöfen, Aufgabe der Umsteigebeziehungen. Die Optimierungsaufgabe stellt ein NP-hartes Problem dar. Zur deren Lösung

wurden genetische Algorithmen in Kombination mit dem Branch-and-Bound Verfahren eingesetzt. Genetische Algorithmen [1, 2, 5] sind nach dem Vorbild der Natur aufgebaut und werden zur Optimierung komplexer Systeme angewendet. Zur Suchraumeinschränkung und Steigerung der Sucheffizienz wird das Branch-and-Bound [3] Verfahren eingesetzt. Die Optimierung läuft nach dem folgenden Iterationsschema ab (s. Abbildung 1). Für die Anwendung der Genetischen Algorithmen wurden umfangreiche Untersuchungen zu günstigen Kodierung (Chromosomaufbau) von Fahrplan, Topologie, Betriebsabläufe hinsichtlich ihrer kontinuierlich-diskreten Natur durchgeführt, sowie verschiedene Arten/Parametrierungen zur Modellierung der genetischen Operatoren (Crossover, Mutation, Selektion) untersucht.

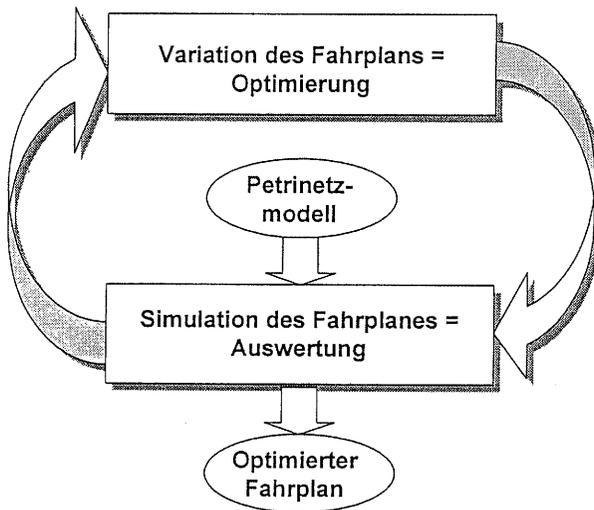


Abbildung 2. Optimierungsablauf

Die Güte der erreichten Lösung hängt sehr stark von der zur Verfügung stehenden Zeit ab. Im Falle einer Disposition sind es wenige Minuten, die zwischen einer Verspätungsmeldung und den neu berechneten Dispositionsmaßnahmen liegen. Eine der Möglichkeiten, kurze Laufzeiten zu erreichen, liegt in der Parallelisierung der Berechnungen. Dies ist ohne weiteres möglich, da das zugrunde liegende Optimierungsverfahren von „Natur“ aus parallel ist.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Effizienzsteigerung der Simulation. Zu diesem Zweck wurde das Betriebsverfahren der Eisenbahn auf Petrinetze abgebildet. Die Zuordnung unterschiedlich genauer Berechnungsvorschriften zu den Transitionen des Petrinetzes ergibt

effiziente Simulationsverfahren, die an die jeweilige Optimierungsphase angepasst sind.

Das Verfahren wurde unter Linux in C++ prototypisch implementiert und an realen Beispielen der Deutschen Bahn AG getestet, die ca. 2% des Verkehrsaufkommens Deutschlands entsprechen. Die Antwortzeiten für den Testfall, bei dem über 1000 Züge eine gleichverteilte Einbruchsverspätung von 0 bis 30 Minuten bekommen haben, lagen je nach Lauf unter einer Minute und die Lösungsgüte erreichte ca. 88% des theoretisch globalen Optimums. Dies bestätigt eine hohe Effizienz der Lösung.

Literatur:

- [1] Ingo Rechenberg: *Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. Fromman-Holzboog Verlag, 1973.
- [2] John Holland: *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, 1975.
- [3] Uwe Schöning: *Algorithmik*. Spektrum, 2001
- [4] Wegele, S.; Slovak, R.; Schnieder, E.: *Automated train operation planning using genetic algorithms*, S. 361-367, IFAC CTS Symposium, Tokyo, 2003
- [5] T. Lambropoulos: *Genetic algorithm application for the solution of the optimal dispatching problem*, S. 827-837, Computers in Railways (COMPRAIL), Lemnos, 2002

Integration von Sprachen für speicherprogrammierbare Steuerungen in die Unified Modeling Language durch Funktionsbausteinadapter

Torsten Heverhagen

Prof. Dr.-Ing. R. Tracht/Automatisierungstechnik/FB 12
Universität Duisburg-Essen
Campus Essen, Schützenbahn 70
Tel. 0201 183 2945
Fax 0201 183 2089
Email Torsten.Heverhagen@web.de

Schlüsselwörter: IEC 61131-3, UML, Funktionsbausteine, Softwareentwurf

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) haben im Bereich der Automatisierungstechnik eine weite Verbreitung gefunden. Die Einsatzgebiete erstrecken sich von der Produktautomatisierung über die Fertigungs- und Gebäudeautomatisierung bis hin zur Prozessautomatisierung. Wegen ihrer hohen Zuverlässigkeit, guten Echtzeiteigenschaften und einfachen Handhabung werden sie vor allem in operativen Ebenen (hauptsächlich der Steuerungsebene) der Unternehmenshierarchie eingesetzt.

In heutigen Produktionsunternehmen findet man oberhalb der Steuerungsebene in erster Linie Standard-Personalcomputer (PCs) oder Workstations, deren Aufgaben in den Bereichen Betriebsdatenerfassung, Produktionsplanung, Produktionssteuerung und Visualisierung liegen. Auf PC-Technik basierende Automatisierungsgeräte werden aber auch zunehmend in der Steuerungsebene parallel zu speicherprogrammierbaren Steuerungen eingesetzt. Da alle Automatisierungsgeräte einer Produktionsanlage einer gemeinsamen Aufgabe dienen, besteht normalerweise die Notwendigkeit einer Vernetzung innerhalb der Steuerungsebene, zu höheren Ebenen und zur Feldebene. Die hohen Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit in der Steuerungsebene müssen trotz dieser heterogenen Struktur erfüllt werden.

Man kann deshalb allgemein feststellen, dass Kommunikationsbeziehungen zwischen SPS- und PC-basierten Computersystemen sehr vielfältig sein können und einer besonderen Untersuchung bedürfen. Je früher im Entwicklungsprozess mit der Analyse dieser Schnittstellen begonnen werden kann, desto geringer ist der Aufwand zur Behebung von eventuellen Spezifikationsfehlern. Erschwert wird diese Analyse dadurch, dass für die Softwareentwicklung beider Computersysteme häufig unterschiedliche Sprachen eingesetzt werden. Um eine möglichst frühzeitige Analyse unterstützen zu können, müssen insbesondere die in der Entwurfsphase verwendeten Sprachen betrachtet werden.

Aus diesem Grund wird als zentraler Beitrag dieser Arbeit das Konzept der Funktionsbausteinadapter vorgestellt, wodurch das Problem der Integration von Sprachen für speicherprogrammierbare Steuerungen (IEC 61131-3) in die Unified Modeling Language (UML) gelöst wird. Funktionsbausteinadapter sind spezielle Protokolladapter, die in der Lage sind, Schnittstellen von Funktionsbausteinen der IEC 61131-3 auf UML-Schnittstellen abzubilden.

Funktionsbausteinadapter eignen sich sehr gut für eine Verifikation durch Modelchecking. Ein erster Ansatz, der auf einfachen endlichen Automaten beruht und das SMV-Tool als Modelchecker verwendet, wird in dieser Arbeit vorgestellt. Im Anwendungsbeispiel Motion Control wird die Eignung dieses Ansatzes für reale praktische Probleme gezeigt.

Neben allgemeinen Hinweisen zur Implementierung von Funktionsbausteinadaptern wird im Anwendungsbeispiel Fertigungsanlage ein komplexes Problem bearbeitet, bei dem besonders plattformabhängige Implementierungsaspekte von Funktionsbausteinadaptern betrachtet werden.

Die gleichzeitige Verwendung unterschiedlicher Sprachen zur Softwareentwicklung ist in der automatisierungstechnischen Praxis häufig eine Notwendigkeit. Funktionsbausteinadapter ermöglichen hierbei die Integration von zwei der wichtigsten Standards zur Softwareentwicklung in der Automatisierungstechnik.

Literatur:

[1] T. Heverhagen, R. Tracht: Integrating UML-RealTime and IEC 61131-3 with Function Block Adapters. Proc. of ISORC 2001, IEEE Computer Society, S. 395-402.

[2] T. Heverhagen: Integration von Sprachen für speicherprogrammierbare Steuerungen in die Unified Modeling Language durch Funktionsbausteinadapter. Dissertation Universität Essen, Shaker Verlag, Aachen 2003

[3] T. Heverhagen: *Verifikation von Funktionsbausteinadaptern durch Modelchecking*, Zeitschrift at-Automatisierungstechnik 4/2003, p. 153-163, Oldenbourg 2003

Wegfall der elektromechanischen Kopplung über beispielsweise ein 4/3-Wegeventil in der klassischen Hydraulik und der relativ hohen Dynamik des ER-Effektes (~ 1 ms) [8], [5] kann damit eine wesentlich höhere Dynamik des Gesamtsystems erwartet werden.

Ausgehend von dem oben beschriebenen Materialgesetz und den allgemein gültigen Navier-Stokes-Gleichungen wird das mathematische Modell der Spaltströmung in Form einer partiellen Differentialgleichung hergeleitet. Unter bestimmten Annahmen ist es nun möglich, das mathematische Modell des ERF-Ventils in Form einer Hammerstein-Modellstruktur mit einer statischen Eingangsnichtlinearität und einer transzendenten Übertragungsfunktion zu formulieren. Die Kontinuitätsgleichung angeschrieben für die beiden Zylinderkammern und der Impulserhaltungssatz für den Kolben vervollständigen das mathematische Modell des ERF-Aktuators.

Da der ER-Effekt inhärent nichtlinear ist, stellt der ERF-Aktuator im regelungstechnischen Sinne ein nichtlineares Mehrgrößensystem dar. Es zeigt sich, dass zur Nutzung der potentiellen Möglichkeiten hinsichtlich hoher Dynamik und großem Arbeitsbereich eine im klassischen Sinne linearisierte Betrachtung um einen (oder mehrere) Arbeitspunkt(e) nicht mehr ausreicht. Analysiert man das mathematische Modell des ERF-Aktuators, so sieht man, dass mit den vier Stellgrößen (den Spannungen an den Ventilen) mehr Freiheitsgrade zur Verfügung stehen, als zur Lösung der primären Aufgabe, nämlich der Regelung der Position des Aktuators, nötig sind. Im Weiteren wird die Reglerentwurfsaufgabe dadurch erschwert, dass einerseits die Stellgrößen beschränkt sind – die Spannungen an den ERF-Ventilen müssen positiv sein – und andererseits die ERF-Ventile im Übergangsbereich zum vollständigen Sperren signifikante Hystereseeffekte aufweisen (siehe [4]). Daher wird als zentraler Punkt des Reglerentwurfes im ersten Schritt eine Ansteuerstrategie entwickelt, die unter Zuhilfenahme aller verfügbaren Freiheitsgrade diese Beschränkungen möglichst gut berücksichtigt. Im zweiten Schritt wird dann ausgehend von dieser Ansteuerstrategie ein nichtlinearer Positionsregler entworfen und in der Simulation getestet. Abschließend wird durch experimentelle Ergebnisse auf einem Prüfstand die Brauchbarkeit des vorgestellten Regelungskonzeptes dokumentiert.

Literatur:

- [1] Bayer: Provisional Product Information: Rheobay TP AI 3565 and 3566, 1996.
- [2] FLUDICON: Bedienungsanleitung, RheAct, Darmstadt, 2001.
- [3] Gavin HP: Annular Poiseuille flow of ER and MR materials, *Journal of Rheology*, 45, 4, 2001.
- [4] Kamath GM, Wereley NM: A nonlinear viscoelastic-plastic model for electrorheological fluids, *Smart Materials and Structures* 6:351-359, 1997.
- [5] Parthasarathy M, Klingenberg DJ: Electrorheology: mechanisms and models, *Journal of Materials Science and Engineering R*, 17:57-103, 1996.
- [6] Růžička M: *Electrorheological Fluids: Modeling and Mathematical Theory*, Lecture Notes in Mathematics, Springer Verlag Berlin, 2000.
- [7] Shkel YM, Klingenberg DJ: A continuum approach to electrorheology, *Journal of Rheology*, 43, 5:1307-1322, 1999.
- [8] Whittle M, Atkin RJ, Bullough WA: Dynamics of an Electrorheological Valve, *International Journal of Modern Physics B*, 10, 23:2933-2950, 1996.

Aspekte zur Modellierung und Regelung von pneumatischen Aktuatoren

A. Hildebrandt

Fachgebiet Regelungstechnik
Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik
TU Ilmenau, Postfach 10 05 65, D-98684 Ilmenau
Tel.: +49-3677/69-2816
Fax: +49-3677/69-1415
Email: alexander.hildebrandt@tu-ilmenau.de

Schlüsselwörter: nichtlineare Systeme, Modellierung und Regelung von servopneumatischen Antrieben

Pneumatische Aktuatoren verhalten sich aufgrund der Kompressibilität von Druckluft stark nichtlinear [HIL02]. Für servopneumatische Anwendungen werden als Stelleinheit häufig Proportional-Wege-Ventile eingesetzt. Für die Funktion der Regelung ist das dynamische Verhalten des Ventils entscheidend. In diesem Beitrag wird auf eine detaillierte Modellierung von Proportional-Wege-Ventilen eingegangen. Es zeigt sich dabei eine nichtlineare Beziehung der Luftströmung in Abhängigkeit von der Ventilschieberposition und den Kammerdrücken des Aktuators. Experimente verdeutlichen eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenem und simuliertem Durchflussverhalten des Ventils.

Das Antriebssystem besteht aus einem doppelwirkenden Zylinder mit einem 5/3-Wege-Ventil oder zwei 3/3-Wege-Ventilen. Zuletzt genannte Konfiguration ist äquivalent zu einem Antriebssystem mit zwei einfachwirkenden Zylindern und zwei 3/3-Wege-Ventilen. Es werden nichtlineare Regelungskonzepte erörtert, um den Aktuator hinsichtlich einer vorgegebenen Trajektorie möglichst bahngenaue zu führen [BRU99]. Die vorgestellten Regelungsansätze beruhen auf differentialalgebraischen Methoden. Ausgehend von der physikalischen Modellbildung treten als Zustandsgrößen in diesem Zusammenhang die Position, Geschwindigkeit und die Drücke im Zylinder auf. Im Falle des differentiellen Zylinders mit einer 5/3-Schaltungsanordnung führt die Systembeschreibung dann auf einen relativen Grad, der kleiner als die Systemordnung ist. Die damit auftretende Nulldynamik wird hinsichtlich des Stabilitätsverhaltens diskutiert und Methoden zur Schätzung der Kammerdrücke vorgestellt [SAW02]. Antriebssysteme mit zwei 3-Wege-Ventilen führen auf Mehrgrößensysteme, die eine zusätzliche Definition von Regelungsgrößen erlauben. Anhand eines zweiachsigen Manipulators werden hierzu Entwurfsmöglichkeiten vorgestellt.

Literatur:

- [HIL02] Hildebrandt A., Sawodny O., Neumann R., Hartmann A.: *A flatness based design for tracking control of pneumatic muscle actuators*. In: Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics And Vision (ICARCV'02), Singapore, pp. 1156-1161, 2002
- [BRU99] Brun X., Belgharbi M., Sesmat S., Thomasset D., Scavarda S.: *Control of an electropneumatic actuator, comparison between some linear and nonlinear control laws*. In: Journal of Systems and Control Engineering 213 (1999) pp. 387-406, 1999.
- [SAW02] Sawodny O., Hildebrandt A.: *Aspects of the control of differential pneumatic cylinders*. In: Proc. of 10th German Japanese Seminar, Kanazawa, 30.9.-03.10.2002, pp. 247-256, 2002.

Networked Control Systems -Probleme und Lösungsansätze-

Dipl.-Ing. Oliver Gabel *

Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Litz **

* Lehrstuhl für Automatisierungstechnik
Technische Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger-Straße
+49 631 205 4459
+49 631 205 4462
Gabel@eit.uni-kl.de

** Lehrstuhl für Automatisierungstechnik
Technische Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger-Straße
+49 631 205 4450
+49 631 205 4462
Litz@eit.uni-kl.de

Schlüsselwörter: NCS, Netzwerk, variable Verzögerungen

Networked Control Systems (NCS) sind Regelkreise, bei denen Sensoren, Aktuatoren und Regler räumlich verteilt und über ein Kommunikationsnetz verbunden sind (siehe Abbildung 1). Der Hauptunterschied zu klassischen Abtastregelkreisen besteht darin, dass ein Datenaustausch in Form von Telegrammen erfolgen muss, um den Regelkreis zu schließen [1], [3], [4].

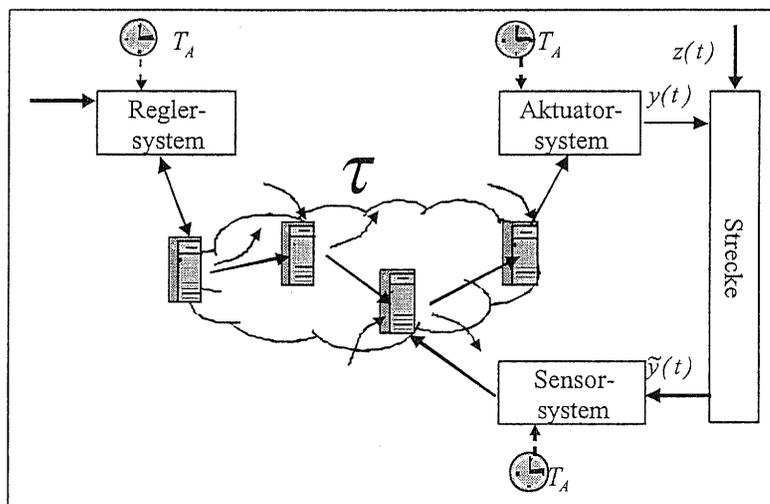


Abbildung 1: Networked Control System

Die für die Datenübertragung erforderliche Zeit τ bringt zusätzliche Verzögerungen in den Regelkreis ein, die stochastischen Charakter haben. Diese können die Güte des Regelkreises beeinträchtigen und im Extremfall zur Instabilität führen. Die Varianz bzw. die Verteilungsfunktion der Übertragungszeit hängt von der Architektur und dem Übertragungsverfahren des verwendeten Kommunikationsnetzes ab. Es lassen sich drei Klassen von NCS identifizieren:

NCS mit deterministischem Übertragungsverfahren, NCS mit stochastischem Übertragungsverfahren aber fester Netzstruktur sowie NCS mit stochastischem Übertragungsverfahren und dynamischer Netzstruktur. Zur letztgenannten Klasse zählen die selbstkonfigurierenden- oder Ad-hoc-Netze, die z. B. intrinsischer Bestandteil von Ambient Intelligence sind [7].

Weitere Probleme bei NCS sind Telegrammverluste durch Übertragungsfehler oder Netzwerkstaus sowie unterschiedliche Sende- und Empfangsreihenfolgen durch verschiedene Kommunikationswege [3]. Beide Effekte verschlechtern das Gesamtverhalten und treten insbesondere bei paketvermittelnden Netzen auf.

Durch diese Eigenschaften von NCS reichen die klassischen Methoden der Regelungstechnik nicht aus, sondern es sind neue Analyse- und Entwurfsverfahren notwendig. Insbesondere ist

ein kombinierter Entwurfsansatz zu verwenden, der die Systemaspekte des Regelkreises und des Kommunikationsnetzes gleichermaßen berücksichtigt, da sich die Designparameter teilweise gegenseitig beeinflussen [2]. Beispielsweise führt auf der einen Seite die Erhöhung der Abtastrate zu einer Verbesserung des Regelverhaltens. Auf der anderen Seite verringert sich dadurch die effektive Bandbreite, was die Regelgüte negativ beeinträchtigt [5]. Des Weiteren existiert bei NCS kein allgemeines Verfahren der Stabilitätsanalyse, sondern es sind system-spezifische Verfahren nötig [6].

Der Beitrag geht zunächst auf die Probleme von NCS ein. Die drei Klassen werden allgemein und in ihrer Wirkung auf das Übertragungsverhalten beschrieben. Ferner wird ein MATLAB/Simulink basiertes Simulationswerkzeug vorgestellt, das speziell entwickelt wurde, um verschiedene Kommunikationsarchitekturen, variierende Übertragungszeiten und Telegrammverluste in der Wirkung auf Abtastregelkreise abzubilden. Zuletzt werden verschiedene Lösungsansätze vorgestellt, welche die Güte der Regelkreise trotz variierender Übertragungszeiten verbessern.

Literatur:

- [1] Åström, K.J.; Wittenmark, B.: Computer Controlled Systems - Theory and Design, London: Prentice-Hall International, Inc., 3. Auflage, 1997.
- [2] Branicky, M. S.; Liberatore, V.; Phillips, S. M.: Networked control system co-simulation for co-design. In: Proceedings of the American Control Conference, S. 3341 - 3346, 2003.
- [3] Gabel, O. (Ed.): Webseite des Seminars "Internet in Automation" 2003. http://www.eit.uni-kl.de/litz/lehre/seminar/seminar_ss_03/Internetprae.htm, 2003.
- [4] Kopetz, H.: Real-Time Systems - Design Principles for Distributed Embedded Applications, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [5] Lian, F.-L.; Moyne, J.R.; Tilbury, D.M.: Network Design Consideration for Distributed Control Systems. In: IEEE Transactions on Control Systems Technology 10 (2), S. 297 - 307, 2002.
- [6] Tipsuwan, Y.; Chow, M.-Y.: Control methodologies in networked control systems. In: Control Engineering Practice 11, S. 1099 - 1111, 2003.
- [7] TU Kaiserslautern: Webseite des Forschungsschwerpunkts Ambient Intelligence. <http://www.eit.uni-kl.de/ami/>, [Zugriff am 17.11.2003].

Über die Systemtheorie ereignisdiskreter Systeme

Holger Jäkel*

Uwe Kiencke**

* Institut für Industrielle Informationstechnik /
Institut für Nachrichtentechnik
Universität Karlsruhe (TH)
Hertzstr. 16
Tel.: +49-721-608 6272
Fax: +49-721-608 4500
Email: jaekel@int.uni-karlsruhe.de

** Institut für Industrielle Informationstechnik
Universität Karlsruhe (TH)
Hertzstr. 16
Tel.: +49-721-608-4520
Fax : +49-721-608 4500
Email: kiencke@iiit.etec.uni-karlsruhe.de

Schlüsselwörter: Ereignisdiskrete Systeme, Systemtheorie, Approximation, Störungen

Da viele praktische Systeme, wie etwa Produktionsstraßen und Getränkeautomaten, ereignisdiskretes Verhalten aufweisen, steht die Analyse und Beschreibung ereignisdiskreter Systeme zunehmend im Blickpunkt sowohl des theoretischen als auch des praktischen Interesses. Zur Modellierung ereignisdiskreter Systeme existiert eine Vielzahl von Ansätzen, wie z.B. Petri-Netze, Automaten und Markoff-Ketten, vgl. [CAS93], [Kie97]. All diese Werkzeuge sind in der Lage, das Verhalten ereignisdiskreter Systeme zu beschreiben und nachzubilden, bieten jedoch keine geschlossene formale Darstellung der stattfindenden Vorgänge, wie dies in der klassischen Systemtheorie möglich ist. Hieraus entsteht die Notwendigkeit, eine Beschreibung ereignisdiskreter Systeme auf Basis einer der Problematik angepassten Darstellung zu formulieren.

Die Verwendung einer geeigneten algebraischen Struktur zur Analyse ereignisdiskreter Systeme findet sich in der Literatur seit etwa zwanzig Jahren. In [BCOQ92] werden sukzessive die algebraischen Strukturen einer ereignisdiskreten Systemtheorie aufgebaut, weshalb dies als Grundlage einer geschlossenen Beschreibung ereignisdiskreter Systeme betrachtet werden kann. Hervorgehoben sei weiterhin [Gau92], in dem ein breites theoretisches Fundament der mathematischen Begriffe gelegt wird.

Gegenstand des Vortrages ist die Darstellung der ereignisdiskreten Systemtheorie und möglicher Erweiterungen. Durch Parallelen zu den aus der klassischen Systemtheorie bekannten Größen ergibt sich ein hoher Wiedererkennungseffekt. Über ARMA-Strukturen ereignisdiskreter Systeme können Einsichten in das interne Systemverhalten gewonnen werden. Die Einflüsse einzelner Systemkomponenten lassen sich aus den Parametern einer ARMA-Darstellung ablesen. Um die in realen Systemen auftretenden Störungen berücksichtigen zu können, wird anschließend die Beschreibung und der Einfluss von Störungen auf das Systemverhalten aufgezeigt. Daraufhin werden Möglichkeiten zur Analyse und Kompensation von Störungen skizziert.

Literatur:

- [BCOQ92] Baccelli, F., Cohen, G., Olsder, G. J., Quadrat, J. P.: *Synchronization and Linearity, An Algebra for Discrete Event Systems*, Wiley & Son, 1992.
- [CAS93] Cassandras, C. G.: *Discrete event systems - Modeling and Performance Analysis*, Aksen Associates and Irwin, 1993.
- [Gau92] Gaubert, S.: *Théorie des systèmes linéaires dans les dioides*, Thèse, École des Mines de Paris, 1992.
- [Kie97] Kiencke, U.: *Ereignisdiskrete Systeme*, Oldenbourg Verlag, 1997.

Feedback Structures in Image Processing for Improvement of Character Recognition in Industrial Applications

Danijela Ristić *

Axel Gräser **

* Institute of Automation (IAT)
University of Bremen
Otto-Hahn-Allee, NW1, Bremen
Tel. +49 (0)421 218-4846
Fax. +49 (0)421 218-4596
Email. ristic@iat.uni-bremen.de

** Institute of Automation (IAT)
University of Bremen
Otto-Hahn-Allee, NW1, Bremen
Tel. +49 (0)421 218-7523
Fax. +49 (0)421 218-4596
Email. ag@iat.uni-bremen.de

Keywords: Optical Character Recognition (OCR), Digital Image Processing, Feedback Structures

Automated reading of human-readable characters known as optical character recognition (OCR) is one of the most demanding tasks for computer vision systems because it has to deal with different problems like wide range of fonts, confusing characters such as B and 8 or unevenly spaced characters. Besides the mentioned common problems concerning the nature of text information to be recognized in various industrial applications ranging from pharmaceutical industry to the automotive industry there are numerous specific challenging conditions that should be met. Depending on the industry demands each application bears one's challenges for character recognition system but the main common difficulty in codes recognition concerns the illumination conditions during the image acquisition. The problems like variations in object lighting and strong reflection from object surface cause the loss of image information and make the bad quality of the image with the characters to be recognized. In such situations any preprocessing methods, that represent the first step in the standard industrial OCR systems, can not improve the quality of the original image and consequently characters detection becomes unreliable or even impossible due to hardly realizable segmentation of the characters from the image background. Research project "Robust Character Recognition in Industrial Environment", performing at the IAT, has as a goal development of OCR system that will be able to overcome this problem and to achieve reliable character recognition for all illumination conditions in applications such as car manufacturing.

In this presentation some research results regarding the incorporation of ideas from the field of control theory into the digital image processing are presented. The inclusion of feedback structures in different stages of image processing, forming the complete character recognition system, in order to achieve the main benefit of feedback in control systems - high system robustness, is suggested (Fig. 1).

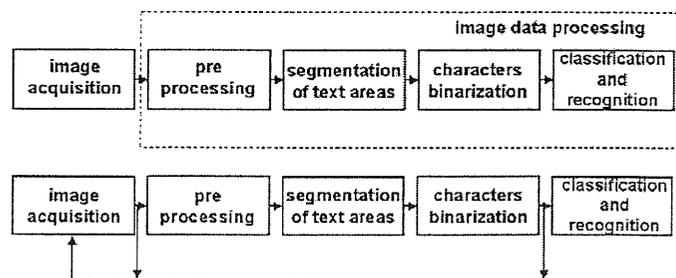


Figure 1: Block diagram of standard open loop (a) and closed loop (b) digital image processing for the purpose of OCR

First, the image acquisition closed-loop, as the feedback between the original image quality and the illumination condition, is considered. Since the suggested image quality control differs significantly from the usual industrial control, the main problem is to determine the feedback variable suitable from the control systems point of view. These variable has to be some measurable image characteristics determining the quality of image. To find the answer to the question “what is the image of good quality?” is quite a difficult problem since the image quality depends on the interpretation of the context. The best measure of original image quality in machine vision context must be determined under the condition that the subsequent image processing steps work well. This will be the case of original object image containing the maximum amount of information. According to that, the suggested controlled variable that yield the original image suitable for image processing leading to good machine perception and character recognition is the appropriate measure of the image histogram stretch over the gray level scale. The proposed measure is directly related to the entropy of the image determining the image information content and so to the quality of the image.

The considered feedback structure provides the original object image of good quality in the sense that corresponding binary edge-detected image consists of clearly recognizable black characters on the white background. That significantly simplify the segmentation of the text information, which is of the major importance for character recognition. The precise location of the text information to be detected enables reconsideration of the image acquisition closed-loop as the feedback between the number of black pixels forming the characters in the binary edge-detected image and the illumination condition. The treated feedback variable has been chosen with the aim to provide “full” characters resembling the characters used for the learning of the classifier of the OCR system. However, it is shown that the maximum number of black pixels in the area of interest is not a guarantee for a good OCR result. For a reliable character recognition the spatial distribution and connectivity of the black pixels forming the characters are of the greater importance. In order to achieve desired compactness of the characters the quality of original image in text area must be controlled besides the quality of binary edge-detected image. The system characteristics are: there are two measurement signals, the inner measurement signal responds faster to the control signal, essential disturbance (illumination condition) acts on the inner measurement. The process is pure dead time due to the image processing which, together with the previous mentioned facts, makes the system a typical candidate for cascade control (Fig. 2).

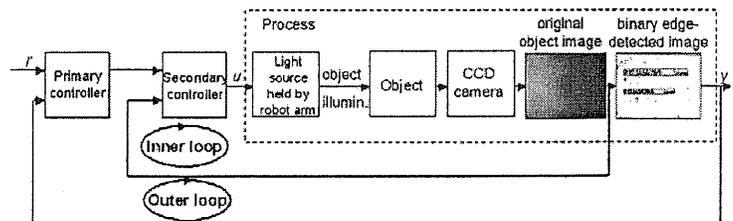


Figure 2: System with cascade control

Presented results confirm the basic assumption that the ideas from other engineering fields such as control theory provide a rich source of new methods for solving digital image processing problems

Literature:

- [1] Mori S., Nishida H., Optical Character Recognition, John Wiley & Sons, 1999.
- [2] Demant C., Streicher-Abel B., Waszkewitz P., Industrial Image Processing-Visual Quality Control in Manufacturing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.
- [3] Marchant J. A., Testing a measure of image quality for acquisition control, Image and Vision Computing 20, pp. 449-458, 2002.

Reglerentwurf für lineare zeitinvariante Mehrgrößensysteme durch teilerfremde Faktorisierung

Ulrich Potthoff

Kurt Reinschke

Institut für Regelungs- und Steuerungstheorie

Technische Universität Dresden

Mommsenstr. 13

01062 Dresden

Tel.: (0351) 46333940, Fax: (0351) 46337281, {potthoff,kr}@erss11.et.tu-dresden.de

Schlüsselwörter: Reglerentwurf, modellbasierte Regelung, BÉZOUTsche Identität.

Die teilerfremde Faktorisierung von Übertragungsmatrizen erweist sich für den Reglerentwurf linearer zeitinvarianter Mehrgrößensysteme als ein nutzbringendes Werkzeug. Die Teilerfremdheit als eine algebraische Eigenschaft von Polynommatrizen $\mathcal{M}\{\mathbb{R}[s]\}$ und stabilen rationalen Matrizen $\mathcal{M}\{\mathcal{RH}_\infty\}$ wird anhand der Lösung der BÉZOUTschen Identität untersucht. Hierzu kann ein gemeinsamer algebraischer Rahmen aufgestellt werden, in dem eine mathematische und systemtheoretische Aufbereitung verschiedener Modelldarstellungen erfolgt. Unter Berücksichtigung der Teilerfremdheit werden Faktorisierungen von Übertragungsmatrizen sowohl über $\mathbb{R}[s]$ als auch über \mathcal{RH}_∞ betrachtet, [1, 2, 3, 4].

Eine Vielzahl technischer Modellbildungen führt in natürlicher Weise auf eine faktorisierte Darstellung der Übertragungsmatrix der Regelstrecke, vor allem auf eine Faktorisierung über $\mathbb{R}[s]$. Für den Reglerentwurf werden Faktorisierungen über \mathcal{RH}_∞ benötigt. Der entscheidende Schritt hierfür gelingt durch das Einführen einer *Bezugspolynommatrix* mit definierten Eigenschaften, um die Faktorisierung einer Übertragungsmatrix über $\mathbb{R}[s]$ in eine Faktorisierung über \mathcal{RH}_∞ zu überführen. Insbesondere erweist sich die Wahl der Bezugspolynommatrix als Diagonalmatrix mit stabilen Elementen als außerordentlich praktikabel.

Als grundsätzliches Regelungsprinzip dient der Standardregelkreis mit dynamischer Ausgangsrückführung. Werden im geschlossenen Regelkreis die Faktorisierungen über \mathcal{RH}_∞ und die Lösung der BÉZOUTschen Identität berücksichtigt, so sind deutliche Vereinfachungen bei der Darstellung des geschlossenen Regelkreises erzielbar. Von besonderer Wichtigkeit ist der resultierende *lineare Zusammenhang* zwischen den Matrizen der Reglerfaktorisierung und der Übertragungsmatrix des geschlossenen Regelkreises.

Das Verwenden von Faktorisierungen über \mathcal{RH}_∞ für die Beschreibung von Regelstrecke und Regler unter Einbeziehung der Bezugspolynommatrizen, mithin die Lösung der BÉZOUTschen Identität, gestattet eine frappierend einfache Darstellung des charakteristischen Polynoms des geschlossenen Regelkreises. Das zur Übertragungsmatrix von den Eingangssignalen zu den inneren Signalen des geschlossenen Regelkreises gehörende charakteristische Polynom des geschlossenen Regelkreises kann unmittelbar als die Determinante des Produktes der Bezugspolynommatrizen von Regelstrecke und Regler ausgedrückt werden. Damit ermöglicht dieser Zugang durch die gezielte Wahl der Bezugspolynommatrizen eine einfache und übersichtliche Formulierung einer Polplatzierungsaufgabe.

Für die numerische Lösung der BÉZOUTschen Identität wird eine praktikable Lösungstechnik vorgeschlagen. Ausgehend von den rationalen Matrizen wird durch Umwandeln, zunächst in Polynommatrizen und anschließend durch Koeffizientenvergleich in den Potenzen der komplexen Variablen, eine Darstellung der BÉZOUTschen Gleichung als Satz linearer algebraischer Gleichungssysteme geschaffen. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise besteht einerseits in der Möglichkeit, Lösung und Lösbarkeit anhand der linearen algebraischen Gleichungssysteme zu ermitteln, und andererseits darin, dass durch das Rückführen auf die bekannte Problemklasse der li-

nearen algebraischen Gleichungssysteme der rechnerunterstützte Entwurf erheblich vereinfacht wird, da hierfür in umfangreichem Maße Software existiert.

Aufbauend auf den Faktorisierungen und der Lösungstechnik wird ein *direktes Reglerentwurfungsverfahren* durch Lösen der BÉZOUTSchen Gleichung vorgestellt, das ohne einen Umweg über die Zustandsraum-Darstellung unmittelbar an den Polynom- bzw. rationalen Matrizen operiert. Als übergeordnete Entwurfsaufgabe fungiert die *Polvorgabe durch Wahl der Bezugspolynommatrizen*. Praktisch relevante Entwurfsforderungen können als *Nebenbedingungen in Gleichungsform* oder als *Nebenbedingungen in Ungleichungsform* in einfacher Weise in den Lösungsalgorithmus einbezogen werden.

Auf *Nebenbedingungen in Gleichungsform* führen Forderungen nach *strenger Properheit* des Reglers und an das *stationäre Verhalten* des geschlossenen Regelkreises. Zudem kann eine Bedingung formuliert werden, unter der eine *Ordnungsreduktion* des Reglers gezielt herbeiführbar ist. Die Forderung nach *Entkopplung* wird durch Selektion von Blockübertragungsmatrizen allgemein gefasst und erlaubt damit auch die Anwendung auf rechteckige Übertragungsmatrizen des geschlossenen Regelkreises. Das Prinzip der dynamischen Ausgangsrückführung wird unter Beibehaltung des hier verfolgten Entwurfskonzeptes um die Möglichkeit der *dynamischen Zustandsrückführung* ergänzt.

Auf *Nebenbedingungen in Ungleichungsform* führen Schranken an die Elemente der *Frequenzgangmatrix* des geschlossenen Regelkreises. Ein z.B. in [5] genutztes Verfahren wird an das hier verfolgte direkte Entwurfungsverfahren angepasst und derart verbessert, dass die aufgestellte Bedingung stets hinreichend für die Erfüllung der Betragsforderung und keine Vernachlässigung des Approximationsfehlers erforderlich ist; insbesondere tritt dieser Fehlereffekt bei einer kleinen Anzahl von Stützstellen in Erscheinung. Infolgedessen kommt die hier vorgeschlagene Approximation durch Sekanten beim Reglerentwurf ggf. mit einer geringeren Anzahl von Ungleichungen aus. Eine weitere praktisch bedeutsame Entwurfsforderung sind Schranken an *Zeitverläufe*, die ebenfalls auf Nebenbedingungen in Ungleichungsform führen und damit in einfacher Weise in einen Reglerentwurf einbeziehbar sind.

Das Prinzip der Parameterlinearität kann erfolgreich für die Lösung der übergeordneten Entwurfsaufgabe sowie das Erfüllen von Nebenbedingungen genutzt werden und durchzieht damit den gesamten Reglerentwurf. Das vorgeschlagene direkte Entwurfungsverfahren durch Lösen der BÉZOUTSchen Gleichung ist eine wirkungsvolle Alternative zum Entwurf auf der Basis der unmittelbaren Nutzung des charakteristischen Polynoms des geschlossenen Regelkreises und besitzt darüber hinaus Vorteile gegenüber dem Entwurfungsverfahren mittels YOULA-Parametrierung [2], das wiederum mit dem direkten Verfahren eng verwandt ist.

Literatur:

- [1] VIDYASAGAR, M.: *Control System Synthesis - A Factorization Approach*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1985.
- [2] YOULA, D. C., H. A. JABR, AND J. J. BONGIORNO, JR.: *Modern Wiener-Hopf Design of Optimal Controllers - Part II: The Multivariable Case*. IEEE Transactions on Automatic Control, 21(3):319-338, June 1976.
- [3] DESOER, C. A., R. W. LIU, J. MURRAY, AND R. SAEKS: *Feedback System Design: The Fractional Representation Approach to Analysis and Synthesis*. IEEE Transactions on Automatic Control, 25(3):399-412, June 1980.
- [4] RAISCH, J.: *Mehrgrößenregelung im Frequenzbereich*. Methoden der Regelungs- und Automatisierungstechnik. R. Oldenbourg Verlag, München, 1994.
- [5] LINNEMANN, A.: *Reglersynthese mit Hilfe linearer Ungleichungen*. Automatisierungstechnik, 49(3):177-185, 2001.
- [6] POTTHOFF, U.: *Reglerentwurf für lineare zeitinvariante Mehrgrößensysteme durch teilerfremde Faktorisierung*. Dissertation, TU Dresden, 2003.

Dezentrale Strategieelemente für eine Evolutionsstrategie und Anwendung auf die Regleroptimierung eines industriellen Hydraulikventils

Barbara Nicolaus

Lehrstuhl für Elektrische Steuerung und Regelung
(Dr. rer. nat. Frank Hoffmann)

Universität Dortmund, 44221 Dortmund

Tel.: 0231/755-3998

Fax: 0231/755-2752

Email: nicolaus@esr.e-technik.uni-dortmund.de

Schlüsselwörter: Dezentrale Evolutionsstrategie, Hooke-Jeeves-Verfahren, Regleroptimierung, Hydraulikventil

Der praktische Hintergrund dieses Beitrags liegt in der Optimierung der ca. 20 Parameter eines Reglers für ein industrielles Hydraulikventil. Über diese Anwendung, die durch eine langjährige Industriekooperation initiiert und motiviert wurde, wurde bereits berichtet [1-3]. Diese Optimierungsaufgabe ist deshalb besonders schwierig, weil zahlreiche, teilweise gegenläufige Gütegesichtspunkte simultan zu berücksichtigen sind.

Bisher wird diese Regleroptimierung in der industriellen Praxis von Prozessexperten „von Hand“ vorgenommen. Die Aufgabe der Experten besteht dabei vor allem darin, im Interesse der Erzielung eines möglichst praxisgerechten Kompromisses jeweils abzuwägen, wie Verbesserungen und Verschlechterungen hinsichtlich der einzelnen Gütegesichtspunkte insgesamt zu bewerten sind. Da die einzelnen Reglerparameter nicht unabhängig voneinander eingestellt werden können, ist dieser Prozess zeitaufwendig und erfordert viel Erfahrung.

Zur Einsparung von Zeit und Kosten ist eine Automatisierung der Optimierung erwünscht. Hierzu wurde in einem ersten Schritt das Bewertungsverhalten der Experten durch ein Fuzzy-Gütemaß nachgebildet. Die darin vorgesehenen positiven und negativen Regeln honorieren einen hohen Erfüllungsgrad gewünschter Spezifikationen bzw. führen zur Abwertung, wenn der Erfüllungsgrad nicht akzeptabel ist. Als zweiter Schritt wurde die Optimierung der realen Reglerparameter in einem Hardware-in-the-loop-Versuchsaufbau mit Hilfe einer Evolutionsstrategie vorgenommen [1-3].

Es zeigte sich an diesem Optimierungsproblem, dass eine herkömmliche Evolutionsstrategie zwar erfolgreich einsetzbar ist, aber dennoch Wünsche offen lässt. Um beispielsweise beurteilen zu können, ob die bestehende Reglerstruktur bereits ausgeschöpft ist und deshalb erweitert oder modifiziert werden sollte, besteht einerseits Interesse an einer ausreichenden Breitensuche im Parameterraum. Andererseits ist zur Zeitersparnis eine Tiefensuche in der Nachbarschaft bereits gefundener guter Lösungen erwünscht. Dort soll nach noch besseren Lösungen gesucht werden. Diese Anforderungen konnten von etablierten Optimierungsverfahren nicht zufriedenstellend erfüllt werden. Außerdem sind weitere Maßnahmen von Interesse, die zur Einsparung von Optimierungszeit dienen. Schließlich ist es häufig nicht zweckmäßig, unterschiedliche Gütegesichtspunkte vorab zu einem skalaren Maß zu verrechnen. Vielmehr ist

man an der Paretomenge der Lösungen interessiert, da nachträglich anhand der gefundenen Lösungen besser entschieden werden kann, welche Kompromisslösung die praxisingerechten Anforderungen am besten erfüllt.

Zur Erreichung dieser Ziele wurden zahlreiche neue Strategieelemente entwickelt [4]. Sie basieren wesentlich auf dem Gedanken, dass zur Ausschöpfung ökologischer Nischen ein evolutionärer Prozess, der – wie das biologische Vorbild – dezentral organisiert ist, besser geeignet ist als herkömmliche Evolutionsstrategien, in denen eine zentrale Autorität vorgesehen ist, die alle Individuen kennt.

Einige der entwickelten Strategieelemente, deren Leistungsfähigkeit für das genannte Anwendungsproblem bereits nachgewiesen wurde, werden in diesem Beitrag näher vorgestellt:

- Durch dezentrale Rekombinations- und Selektionsmechanismen wird eine gegenüber einer herkömmlichen Evolutionsstrategie verstärkte Breitensuche erreicht. In Abhängigkeit von der bereits erreichten relativen Güte erfolgt eine Umschaltung von Breiten- auf Tiefensuche. Diese Mechanismen sind organisch auf den Fall einer multikriteriellen Optimierung übertragbar.
- Durch die Einbindung des Hooke-Jeeves-Verfahrens in die Evolutionsstrategie (Hybride Strategie) kann das Auffinden guter Lösungen im Fall skalarer Optimierungsprobleme wesentlich beschleunigt werden.

Dieser Beitrag demonstriert ferner die Wirksamkeit der vorgestellten Strategieelemente anhand des genannten Optimierungsproblems.

Literatur:

- [1] Schwane, U.; Nicolaus, B.; Kiendl, H.; Blumendeller, W.; Leutner, V.:
Fuzzy-Gütemaß zur evolutionären Optimierung eines industriellen hydraulischen Regelventils.
In: *Tagungsband zur VDI/VDE-GMA- und GI-Tagung Computational Intelligence im industriellen Einsatz, Baden-Baden*. Düsseldorf : VDI Verlag, 2000, S. 229–234
- [2] Blumendeller, W.; Leutner, V.; Schwane, U.; Kiendl, H.:
Regleroptimierung mit Evolutionären Algorithmen.
In: *Tagungsband 2. Internationales Fluidtechnisches Kolloquium in Dresden* Bd. 1.
Dresden : Dresdner Verein zur Förderung der Fluidtechnik e. V., 2000, S. 437–452
- [3] Nicolaus, B.; Kiendl, H.; Blumendeller, W.; Schwane, U.:
Evolutionary Optimization of an Industrial Hydraulic Valve with the Help of a Fuzzy Performance-Index.
In: *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE 2001, Melbourne, Australien* Bd. 1. Piscataway, NJ : IEEE-Press, 2001, S. 139–142
- [4] Kiendl, H.; Nicolaus, B.; Lammers, K.; Blumendeller, W.; Sternke, M.:
Verfahren zur Erzeugung günstiger Einstellwerte für technische Prozesse, 2003.
- Patentanmeldung, DE 10302898.6

Automatisierte Blutdrucksenkung zur aortalen Stentimplantation

Dipl.-Ing. Ralf Kähler *

Dr.-Ing. Olaf Simanski **

* Inst. F. Antriebstechnik und Mechatronik
Universität Rostock
A.-Einstein-Str. 2, 18051 Rostock
Tel. +49 381 498 3096
Fax +49 381 498 3098
ralf.kaehler@mbst.uni-rostock.de

** Institut für Automatisierungstechnik
Universität Rostock
R.-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock
Tel. +49 381 498 3620
Fax +49 381 498 3663
olaf.simanski@etechnik.uni-rostock.de

Schlüsselwörter: Blutdruckregelung, automatisierte Infusion, Natriumnitroprussid

Für die Implantation von Aortenstents in der menschlichen Hauptschlagader ist eine Absenkung des aortalen Blutdruckes erwünscht. Damit soll die Implantation vereinfacht sowie ein gefährlicher Blutdruckanstieg im Gehirn während der Stententfaltung vermieden werden. Als Medikament zur Blutdrucksenkung wird Natriumnitroprussid verwendet. Eine wesentliche Eigenschaft von Natriumnitroprussid ist eine große Bandbreite für den Wirkstoffbedarf bei verschiedenen Patienten.

Die Blutdruckabsenkung für die aortale Stentimplantation soll schnell und ohne Überschwingen erfolgen. In der klinischen Praxis tastet sich der Arzt durch schrittweise Erhöhung der Infusionsrate an die notwendige Rate heran. Eine automatisierte Lösung soll nach einer Identifikationsphase eine sichere und schnelle Absenkung ermöglichen. Die benötigte Regelungsdauer liegt dabei im Bereich von 10-30 Minuten.

Für die Blutdrucksenkung mit Natriumnitroprussid wurden bereits mehrere realisierte Regelungen vorgestellt, so auch der erste medizinisch eingesetzte Fuzzy-Regler [1]. Ziel dieser Regelungen ist die Senkung des Blutdruckes unter einen festgelegten Schwellwert bei postoperativen oder intensivtherapierten Patienten nach kardiologischen Eingriffen. Die Einsatzdauer des Reglers liegt dabei bei mehreren Stunden, die Absenkung auf den gewünschten Zielblutdruck kann langsam erfolgen. In den bekannten Arbeiten werden Modelle vorgestellt, die die Wirkung des Medikamentes Nitroprussid auf den mittleren arteriellen Blutdruck beschreiben, sich jedoch auf das Verhalten um einen Arbeitspunkt beschränken [1,2]. In [3] wird ein Überblick über bekannte Modelle und ihre Grenzen gegeben. Bei dem für die Aortenstentimplantation gewünschtem Zielblutdruck kommt es zu einer Gegenreaktion des Körpers, bei der ein blutdruckanhebender Wirkstoff freigesetzt wird. Aufgrund der kurzen Verweildauer auf dem abgesenkten Blutdruckwert kann nach Meinung der Autoren dieser Effekt jedoch vernachlässigt werden.

Die Infusion von Nitroprussid erfolgt in eine kontinuierlich laufende Tropfinfusion, die einen Verschluss des Infusionskatheters durch Blutgerinnung verhindern soll. Das pro Zeiteinheit infundierte Flüssigkeitsvolumen setzt sich damit aus der konstanten Rate der Tropfinfusion sowie der Wirkstoffinfusion zusammen. Daraus folgt eine variable Transportzeit, die im Bereich der Ersatzzeit des zugrundeliegenden Prozesses liegt.

Ausgehend von einer vordefinierten Modellstruktur wurde ein selbsteinstellender PID-Regler realisiert. Das Modell enthält Zeitkonstanten für ein bekanntes Patientenverhalten. Nach einer Identifikationsphase mit konstanter Infusionsrate werden Anstieg und Ersatzzeit ermittelt, aus denen anschließend die Reglerparameter berechnet werden. .. Der Regler wird danach nicht weiter adaptiert.

Das entwickelte Regelungssystem wurde im praktischen Einsatz im Tierversuch erprobt. Dabei konnte gezeigt werden, dass mit dem vorgestellten Regelungsansatz eine schnellere Blutdruckabsenkung möglich ist, als sie durch den Arzt durch herantasten erreicht werden

kann. Bedingt durch die variable Transportzeit sowie die Gegensteuerung des Blutkreislaufes gab es jedoch Probleme mit einem unerwünschten Überschwingen.

Literatur:

- [1] Ying, H., McEachern, Michael, Eddleman, D.W., Sheppard, L.C., "Fuzzy Control of Mean Arterial Pressure in Postsurgical Patients with Sodium Nitroprusside Infusion", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Oktober 1992, Vol.39, Nr.10, pp1060-1070
- [2] Rao, R.R., Aufderheide, B., Bequette, B.W., "Experimental Studies on Multi-Model Predictive Control for Automated Regulation of Hemodynamic Variables", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, März 2003, Vol. 50, Nr. 3, pp 277-288
- [3] Slate, J.B. "Model based design of a controller for infusion sodium nitroprusside during postsurgical hypertension", PhD-Thesis, 1980, University of Wisconsin-Madison

Portal „Automatisierungstechnik“

Ein gestuftes Lernportal vom Azubi bis zum Universitätsstudenten im
Haupt- und Nebenfach

Dipl.-Ing. Robert Görsch

Institut für Automatisierungstechnik

TU Bergakademie Freiberg
Lessingstraße 45, 09596 Freiberg
03731 / 39 - 3302
03731 / 39 - 2925

Robert.Goersch@aut.tu-freiberg.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Löber

Institut für Automatisierungstechnik

Professur für Prozessautomation

TU Bergakademie Freiberg
Lessingstraße 45, 09596 Freiberg

03731 / 39 - 3230

03731 / 39 - 2925

Peter.Loeber@aut.tu-freiberg.de

Die Nutzung des Internets in der Aus- und Weiterbildung darf sich unter den aktuellen Gegebenheiten nicht nur auf das Herunterladen von Vorlesungsskripten und Stundenplänen beschränken, sondern die vorhandenen Versuchsanlagen bzw. kompletten Laboreinrichtungen an den Bildungseinrichtungen sollten in Kombination mit Internettechnologien für eine verbesserte und effizientere Ausbildung im und über das Internet genutzt werden [1].

Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wurde das Portal „Automatisierungstechnik“ ins Leben gerufen, und gemeinsam mit anderen sächsischen Bildungseinrichtungen wird in einem Verbundprojekt an diesem Portal gearbeitet. Das zentrale Ziel besteht darin, unter dem Gesichtspunkt der Notwendigkeit, die Effizienz sowohl der Lehre als auch der Bildungseinrichtungen zu erhöhen, die Möglichkeiten des Internets in die Ausbildung zu integrieren. Im Fokus steht, durch eine entsprechende Aufbereitung der verwendeten Entwurfs- und Analysemethoden zu erreichen, dass mehrere Nutzergruppen mit unterschiedlichen Lehrniveaus angesprochen werden und das Portal für ihre Aus- und Weiterbildung nutzen können. Des Weiteren wird mit dem Portal versucht, ein Niveau der Lehrinhalte nach einer einheitlichen „Norm“ in Bezug auf Begriffe, Abkürzungen, Formeln, Entwurfs- und Analysemethoden, Modellierungsprinzipien und Programmiersprachen der Automatisierungstechnik zu schaffen, welches für die Ausbildung des Azubis, des Fachhochschul- und auch des Universitätsstudenten geeignet ist und damit einen stufenlosen Übergang von einem Ausbildungsniveau zum anderen ermöglicht. Aber auch die Erwachsenenweiterbildung ist aus aktueller Sicht ein Aspekt, der wesentlich an Bedeutung zunimmt und der deshalb stärker zu berücksichtigen ist.

Im Bereich der Automatisierungstechnik ist es üblich, einen wesentlichen Teil der Ausbildung mit Praktika an Modellanlagen durchzuführen, um den Lernenden nicht nur theoretische Kenntnisse zu vermitteln, sondern auch den experimentellen Nachweis nachvollziehbar und überzeugend führen zu können. Zu erkennen ist aber, dass der Aufbau von kompletten Laboranlagen sowohl aus finanzieller als auch aus Sicht der notwendigen dauerhaften ingenieurtechnischen Betreuung durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter gegenwärtig immer schwieriger wird. Deshalb werden mit der Bereitstellung des Portals „Automatisierungstechnik“ vorhandene Modellanlagen mehrerer Einrichtungen „zusammengefasst“ und diese lassen sich nach vereinheitlichter Methodik über das Internet nutzen.

Ausgehend von den Möglichkeiten, die das Internet und die Gerätetechnik der Mess-, Sensor-, Steuerungs-, Regelungs- und Aktor- bzw. Antriebstechnik bereitstellt, werden im Vortrag wesentliche Lehrmethoden und deren internetgerechte Umsetzung vorgestellt. Am Beispiel mehrerer Praktikumsversuche wird gezeigt, wie praktikabel eine internetbasierte ergänzende

Ausbildung sein kann. Auf das Problem der Bereitstellung eines geeigneten Stufenkonzeptes für ausgewählte Methoden und deren Handhabung wird im Beitrag ebenfalls eingegangen.

Literatur:

- [1] Patentanmeldung „Verfahren zur Nutzung von Webservices in Systemen der Automatisierungstechnik“, Patentnummer 2003E00164 DE / 200312785