

Kurzfassungen

Kurzfassungen zum Download unter:

www.iosb.fraunhofer.de/?Boppard

Donnerstag, 20. Februar 2014

Haupttagungsraum im EG		Tagungsraum im 3. OG
08:30 – 10:00	Synthese Sitzungsleitung: Prof. Reger	Automatisiertes, energieoptimales und sicheres Fahren Sitzungsleitung: Prof. Trächtler
08:30 – 09:00	Minimal restriktive Reglersynthese für ereignisdiskrete Systeme mit deterministischen kontextfreien Spezifikationssprachen <i>Anne-Kathrin Schmuck (Fachgebiet für Regelungssysteme, TU Berlin, Prof. Raisch, Gr. 2)</i>	Trajektorienplanung für die automatische Fahrt der Bertha-Benz-Route von Mannheim nach Pforzheim <i>Julius Ziegler (Institut für Mess- und Regelungstechnik, Karlsruhe für Technologie, KIT, Prof. Stiller, Gr. 17)</i>
09:00 – 09:30	Formalisierung von GRAFCET-Spezifikation als Grundlage für die automatische Generierung von Steuerungscode <i>Frank Schumacher (Institut für Automatisierungstechnik, Universität der Bundeswehr Hamburg, Prof. Fay, Gr. 13)</i>	Energieoptimale und fahrerorientierte Betriebsstrategie für Hybridfahrzeuge mittels Multi-Agenten-Ansätzen <i>Sebastian Rehberg (Lehrstuhl für Automtisierung und Informationssysteme, TU München, Prof. Vogel-Heuser, Gr. 21)</i>
09:30 – 10:00	Ein Beobachter für eine Klasse nichtlinearer Systeme mittels Immersion und Invarianz <i>Philipp Rapp (Institut für Systemdynamik, TU Stuttgart, Prof. Tarin, Gr. 28)</i>	Regelkreise der Verkehrssicherheit <i>René Hosse (Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, TU Braunschweig, Prof. Schnieder, Gr. 4)</i>

Minimal restriktive Reglersynthese für ereignisdiskrete Systeme mit deterministisch kontextfreien Spezifikations Sprachen

Anne-Kathrin Schmuck*

*Fachgebiet Regelungssysteme
Technische Universität Berlin
Einsteinufer 17, 10587 Berlin
Tel: 030 314-24094
Fax: 030 314-21137
a.schmuck@control.tu-berlin.de

Schlüsselwörter: Supervisory Control Theory, minimal restriktiver Regler, deterministisch kontextfreie Spezifikations Sprachen, automatisierte Reglersynthese, ereignisdiskrete Systeme

In den 80er Jahren wurde die "Supervisory Control Theory" (SCT) von Ramadge und Wonham [1] als Reglerentwurfsmethode für ereignisdiskrete Systeme entwickelt. Algorithmen zur Berechnung eines minimal restriktiven Reglers existieren bislang nur für den Fall, in dem die Strecke und die Spezifikation als reguläre Sprachen modelliert, d.h. durch deterministische endliche Automaten (engl.: deterministic finite automata (DFA)) dargestellt werden können [2].

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für SCT ist der abstraktionsbasierte Reglerentwurf in hierarchischen Reglerstrukturen. Die dabei verwendeten Abstraktionen der Strecke und unterlagerter Reglereinheiten lassen sich oft adäquat durch DFA modellieren, z.B. [3, 4, 5]. Die Bedingung, dass sich auch die Spezifikation als reguläre Sprache ausdrücken lässt, ist allerdings in vielen Fällen sehr einschränkend.

In diesem Vortrag wird deshalb eine Erweiterung von SCT vorgestellt, die einen minimal restriktiven Reglerentwurf für eine größere Klasse von Spezifikationen erlaubt. Es handelt sich hierbei um deterministisch kontextfreie Spezifikations Sprachen (engl.: deterministic context free languages (DCFL)); diese können durch deterministische Kellerautomaten (engl.: deterministic pushdown automata (DPDA)) realisiert werden. Die Verwendung von DCFL zur Spezifikation industrieller Prozesse ist attraktiv, da diese Sprachen im Gegensatz zu regulären Sprachen beliebig viele Ereignisse zählen oder deren Abfolge speichern und mit nachfolgenden Prozessen vergleichen können. Somit stellen DCFL bzw. ihre Realisierung als DPDA Systeme mit unendlichen Zustandsmengen dar. Der vorgestellte Algorithmus ist in der Lage, einen minimal restriktiven Regler für das resultierende durch eine unendliche Zustandsmenge charakterisierte Problem zu berechnen. Der Algorithmus ist als Plug-in für LibFAUDES [6], einem Open-Source Tool zur ereignisdiskreten Reglersynthese, verfügbar.

Die beschriebenen Ergebnisse resultieren aus einer engen Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten Modelle und Theorie verteilter Systeme (Sven Schneider, Uwe Nestmann) und dem Fachgebiet Regelungssysteme (Anne-Kathrin Schmuck, Jörg Raisch) der Technischen Universität Berlin.

Literatur

- [1] P. J. Ramadge, W. M. Wonham, Supervisory control of a class of discrete event processes, in: A. Bensoussan, J. Lions (Eds.), Analysis and Optimization of Systems, Vol. 63 of Lecture

- Notes in Control and Information Sciences, Springer Berlin Heidelberg, 1984, pp. 475–498.
- [2] W. M. Wonham, P. J. Ramadge, On the supremal controllable sublanguage of a given language, in: SIAM Journal on Control and Optimization, Vol. 25, 1987, pp. 637–659.
- [3] T. Moor, J. Raisch, Supervisory control of hybrid systems within a behavioural framework, Systems and Control Letters 38 (1999) 157–166.
- [4] J. Raisch, T. Moor, Hierarchical hybrid control synthesis and its application to a multiproduct batch plant, in: T. Meurer, K. Graichen, E. Gilles (Eds.), Control and Observer Design for Nonlinear Finite and Infinite Dimensional Systems, Vol. 322 of Lecture Notes in Control and Information Sciences, Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 199–216.
- [5] P. Tabuada, Verification and Control of Hybrid Systems - A Symbolic Approach, Vol. 1, Springer Science+Business Media, 2009.
- [6] libFAUDES, Software library for discrete event systems.(2006-2013).
URL <http://www.rt.eei.uni-erlangen.de/FGdes/faudes>

Formalisierung von GRAFCET-Spezifikationen als Grundlage für die automatische Generierung von Steuerungscode

Dipl.-Ing Frank Schumacher*

* Institut für Automatisierungstechnik
Helmut-Schmidt-Universität
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
+49 (0)40 6541 - 2254
+49 (0)40 6541 - 2004
frank.schumacher@hsu-hh.de

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay **

** Institut für Automatisierungstechnik
Helmut-Schmidt-Universität
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
+49 (0)40 6541 - 2719
+49 (0)40 6541 - 2004
alexander.fay@hsu-hh.de

Schlüsselwörter: Steuerungsentwurf, GRAFCET, formales Modell, Steuerungscode

In der heute üblichen Praxis des Steuerungsentwurfs für Maschinen und Anlagen wird der zu realisierende Steuerungsablauf überwiegend informell durch Anforderungen im Textformat spezifiziert (informelle Spezifikation). Formale Ansätze unter Nutzung grafischer Beschreibungsmittel werden bisher von Seiten der Anwender in diesen Branchen wenig akzeptiert. Ein Grund dafür ist, dass diejenigen, die im Betrieb automatisierter Anlagen die Implementierung und Wartung des Steuerungscode durchführen, formale Beschreibungsmittel nicht kennen und nicht verstehen. Diese Situation vor Augen widmet sich der von den Autoren verfolgte Forschungsansatz dem Beschreibungsmittel *GRAPhe Fonctionnel de Commande Etape et Transitions* (GRAFCET) [1] und zielt ab auf die gemeinsame Nutzung von GRAFCET durch alle an Spezifikation, Entwurf, Implementierung und Wartung von Steuerungen von Maschinen und Anlagen Beteiligten. Inspiriert durch Petrinetze, ermöglicht GRAFCET die Spezifikation von Steuerungsabläufen, bietet hierzu eine umfangreiche Anzahl grafischer Elemente und ist mittlerweile fester Bestandteil von Zwischen- und Abschlussprüfungen diverser technischer Ausbildungsberufe. Zukünftige Facharbeiter und Techniker lernen somit GRAFCET in ihrer Berufsausbildung und können es dadurch ohne Einstiegshürde in der praktischen Anwendung nutzen. Damit würde es möglich, dass aus einer mit GRAFCET erstellten Spezifikation einer Steuerung automatisch entsprechender lauffähiger SPS-Code erstellt wird, der mit Hilfe der GRAFCET-Spezifikation von technischem Personal angepasst und gepflegt werden kann, welches auch Änderungen in der derselben GRAFCET-Spezifikation dokumentieren kann.

Allerdings sind die Struktur und insbesondere das dynamische Verhalten von GRAFCET bisher nicht eindeutig im Sinne eines rechnerinterpretierbaren, implementierungsunabhängigen Modells (formales Modell) beschrieben. Insbesondere die Möglichkeiten, zeitabhängige Anforderungen zu spezifizieren oder eine GRAFCET-Spezifikation durch hierarchische Konstrukte modular in miteinander verknüpfte Spezifikationsteile zu gliedern, wurden bisher nicht formalisiert. Diese fehlende Formalisierung verhindert bisher eine Integration von GRAFCET in einen systematischen rechnergestützten Steuerungsentwurf. Sie ist für eine automatische Generierung von Steuerungscode notwendig.

Hierzu stellt dieser Beitrag einen Ansatz vor, wie eine GRAFCET-Spezifikation systematisch in ein verhaltensgleiches steuerungstechnisch interpretiertes Petrinetz (SIPN) [2] überführt und somit formalisiert werden kann. Das formale SIPN-Modell bietet eine umfassende und eindeutige Definition für die Struktur, den Wirkungsteil

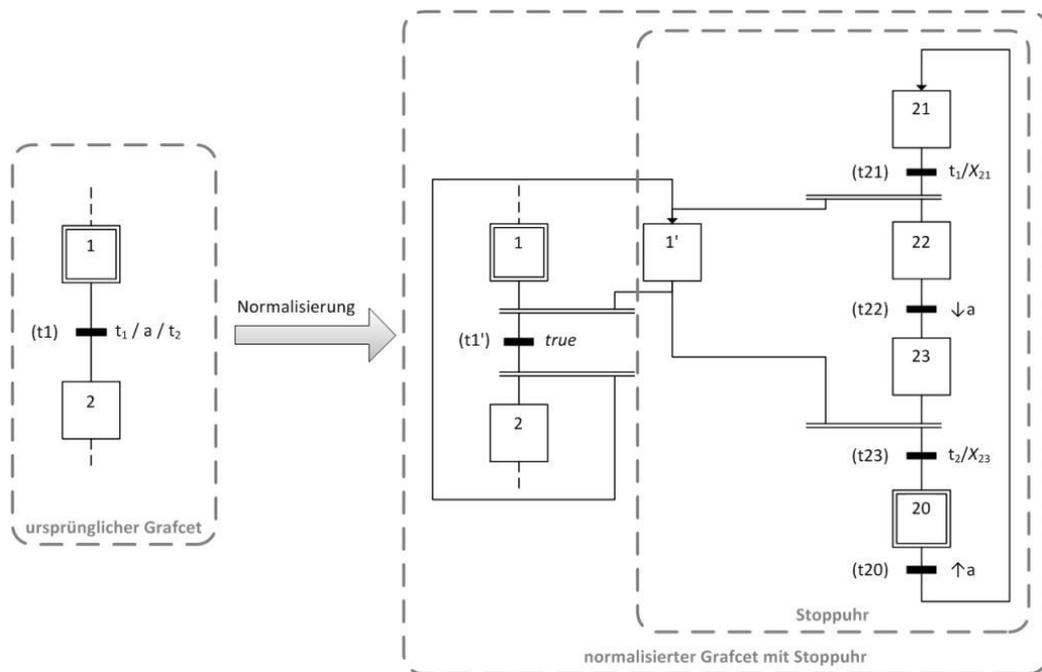


Abbildung 1: Normalisierung zeitabhängiger Transitionsbedingungen

und das dynamische Verhalten von GRAFCET gemäß den Definitionen in IEC 60848. Ausgangspunkt für das formale SIPN-Modell ist der in [2] definierte *Basic-Grafcet*, welcher ausschließlich die grundlegenden GRAFCET-Elemente Schritt, Makroschritt, Transition, Wirkverbindung, kontinuierlich wirkende Aktion ohne Zuweisungsbedingung und gespeichert wirkende Aktion bei Schrittaktivierung/ -deaktivierung umfasst und grundsätzlich SIPN-äquivalentes Verhalten aufweist. Darauf aufbauend können alle in [1] definierten GRAFCET-Elemente, die über den Umfang eines *Basic-Grafcet* hinausgehen, als komprimierte, abkürzende Konstrukte angesehen werden, deren Verhalten stets auf einen Basic-Grafcet zurückgeführt werden können (Normalisierung). Das Prinzip der Normalisierung wird im Rahmen des vorgestellten Ansatzes konsequent zur Formalisierung der weiterführenden GRAFCET-Konstrukte der einschließenden Schritte und zwangssteuernden Befehle [1] angewendet. Auch in Bezug auf zeitabhängige Transitions- und Aktionsbedingungen zeigt sich, dass eine Normalisierung möglich ist [3]. Durch die Rückführung zeitabhängiger Bedingungen auf Stoppuhr-Konstrukte (siehe Abbildung 1) lässt sich das somit spezifizierte dynamische Verhalten in ein struktur- und verhaltensgleiches zeitbewertetes Petrinetz überführen.

Insgesamt betrachtet lassen sich durch die Normalisierung alle weiterführenden GRAFCET-Konstrukte gemäß IEC 60848 formal in ein SIPN-Modell integrieren, welches als Grundlage für eine rechnergestützte, implementierungsunabhängige Handhabung sowie für die automatische Generierung von Steuerungscode genutzt werden kann.

- [1] IEC 60848 (2013): GRAFCET - specification language for sequential function charts.
- [2] David, R., Alla, H.: Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [3] Schumacher, F., Fay, A.: Transforming time constraints of a GRAFCET graph into a suitable Petri net formalism. In: Tagungsband "IEEE International Conference on Industrial Technology", Kapstadt (Südafrika), 25.-27.02.2013, S. 210-218.

Ein Beobachter für eine Klasse nichtlinearer Systeme mittels Immersion und Invarianz

Philipp Rapp und Cristina Tarín

Institut für Systemdynamik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 685 - {66620,66299}
Fax: +49 (0)711 685 - 66371
E-Mail: {rapp,tarin}@isys.uni-stuttgart.de

Schlüsselwörter: Mechanischer Manipulator, nichtlinearer Beobachterentwurf, Immersion und Invarianz

Dieser Beitrag zeigt einen Beobachter für eine Klasse mechanischer Manipulatoren, die jeweils einen translatorischen sowie einen rotatorischen Freiheitsgrad aufweisen. Die Besonderheit liegt hierbei in der messtechnischen Verfügbarkeit des *relativen* Winkels des letztgenannten Freiheitsgrads, bedingt durch die Verwendung eines *inkrementellen Winkelgebers*. Dies bedeutet, dass der Winkel nur bis auf eine additive Konstante eindeutig bekannt ist. Da Regelungsaufgaben den physikalischen, absoluten Winkel benötigen, wird normalerweise eine Kalibrierungsfahrt durchgeführt.

Im vorliegenden Beitrag erfolgt die Bestimmung des absoluten Winkels hingegen beobachterbasiert. Aufgrund des nichtlinearen Systemmodells kommt die Methode der *Immersion und Invarianz* zum Einsatz – ein Verfahren für den nichtlinearen Beobachterentwurf [1], [2]. Vorgestellt wird die Konstruktion eines expliziten Beobachters, dessen Konvergenzbereich mit Hilfe der Lyapunov-Methode abgeschätzt wird [3]. Der Beobachter wird anhand des Ball-auf-Wippe Systems erprobt, welches einen Vertreter der untersuchten Manipulatorklasse darstellt [4].

Literatur:

- [1] A. Astolfi, D. Karagiannis und R. Ortega, *Nonlinear and Adaptive Control with Applications*, Springer, 2008
- [2] D. Karagiannis, D. Carnevale und A. Astolfi, "Invariant Manifold Based Reduced-Order Observer Design for Nonlinear Systems", *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 53, No. 11, pp. 2602-2614, 2008
- [2] P. Rapp, O. Sawodny und C. Tarín, "An Immersion and Invariance based Speed and Rotation Angle Observer for a Class of Revolute/Prismatic Manipulators with Two Degrees of Freedom", *Proceedings of the 52nd IEEE Conference on Decision and Control, Florence, Italy, 2013*
- [3] P. Rapp, O. Sawodny und C. Tarín, "An Immersion and Invariance based Speed and Rotation Angle Observer for the Ball and Beam System", *Proceedings of the 2013 American Control Conference, Washington, DC, USA, 2013*

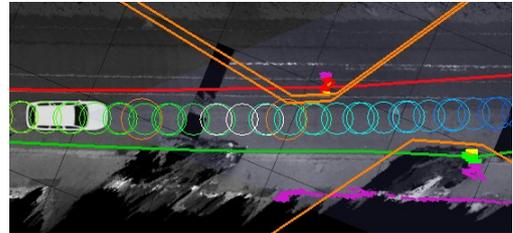
Trajektorienplanung für die vollautomatische Befahrung der Bertha-Benz-Route von Mannheim nach Pforzheim

Julius Ziegler

Christoph Stiller

Institut für Mess- und Regelungstechnik
Karlsruher Institut für Technologie
Engler-Bunte-Ring 21
Tel. 0721 9654 256
ziegler@kit.edu

Schlüsselwörter: Automatisches Fahren, Trajektorienplanung



Im September 2013 fuhr eine Mercedes-Benz-S-Klasse vollautomatisch von Mannheim nach Pforzheim. Sie folgte dabei der 104 km langen Route, die Bertha Benz 125 Jahre zuvor für die erste automobilen Fernfahrt wählte. Eine besondere Herausforderung lag in der Streckenführung, die durch eine hohe Variabilität der Verkehrsräume, und damit auch der möglichen Verkehrsszenarien gekennzeichnet ist. Entlang der Route liegen die Großstädte Mannheim, Heidelberg und Pforzheim sowie 23 kleinere Ortschaften. Auf Überlandstrecken wird bis 100 km/h gefahren. Insgesamt sind 18 Kreisverkehre und mehr als 200 Ampelkreuzungen zu überfahren.

In diesem Vortrag wird ein Gesamtüberblick über das System gegeben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Teilsystem, das aus einem gegebenen Lagebild der Fahrzeugsensorik eine Solltrajektorie errechnet. Die Solltrajektorie ist global zu einer digitalen Karte referenziert. Durch videobasierte Ortung wird das Fahrzeug relativ zu dieser Karte sehr genau lokalisiert. Ein Fahrzeugregler führt die so ermittelte Fahrzeugposition zurück und regelt das Fahrzeug so entlang der Solltrajektorie.

Die Trajektorie optimiert eine gewähltes Gütefunktional, und erfüllt dabei Nebenbedingungen, die in Form von Ungleichungen beschrieben werden. Durch die Nebenbedingungen werden sowohl Beschränkungen ausgedrückt, die sich aus der Lage von bewegten und statischen Hindernissen ergeben, als auch solche, die sich aus Grenzen der Fahrzeugkinematik und -dynamik ergeben. Zur Lösung wird dieses Variationsproblem nach der Methode finiter Differenzen in ein Extremwertproblem überführt. Dies muss unter Berücksichtigung der beschriebenen Nebenbedingungen gelöst werden. Sowohl die Zielfunktion als auch die Nebenbedingungen stellen nichtlineare Gleichungen und Ungleichungen dar. Als Optimierungsverfahren kommt deshalb die Methode des sequentiellen quadratischen Programmierens (SQP) zum Einsatz.

Energieoptimale und fahrerorientierte Betriebsstrategie für Hybridfahrzeuge mittels Multi-Agenten-Ansätzen

Sebastian Rehberger *

Birgit Vogel-Heuser *

* Lehrstuhl Automatisierung und Informationssysteme
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15
85748 Garching bei München
Telefon: +49.89.289.16442
Fax: +49.89.289.16410

E-Mail: rehberger@ais.mw.tum.de; vogel-heuser@ais.mw.tum.de

Schlüsselwörter: Agenten, Betriebsstrategie, Fahrermodell, Fuzzylogik, optimale Regelung

Die übergeordnete Regelung der Antriebskomponenten in Hybridfahrzeugen mit dem Ziel der Verbrauchsminimierung, wird häufig als Betriebsstrategie bezeichnet (vgl. Abb.1). Diese Regelstrategie entscheidet global, welche Komponenten und insbesondere Antriebsaggregate zur Fortbewegung eingesetzt werden. Der Stand der Technik für Betriebsstrategien verwendet zum Teil regelbasierte Algorithmen, welche nicht im Betrieb trainiert werden, sowie Ansätze der optimalen Regelung. Vorgeschlagen sind auch Ansätze, welche die Problematik des unbekanntes bzw. hohen Rechenaufwand durch Kombination beider lösen [1]. Diese Ansätze können auf regelungstechnischen Modellen wie z.B. Zustandsraumdarstellung oder auch wissensbasierten Modellen wie künstlichen neuronalen Netzen basieren [2]. In der Praxis sind jedoch selten Substrategien und Modelle entsprechender beteiligter Komponenten angebunden (z.B. Batteriemangement). Darüber hinaus gewinnt die Einbindung des Fahrers und seiner Wahrnehmung in Abhängigkeit der Fahrsituationen zunehmend an Bedeutung. Die Wahrnehmungsschwellen der durch die Aggregate hergestellten Beschleunigung ist Gegenstand der aktuellen Forschung [3].

Gleichzeitig sind die Verhaltensweisen des Fahrers sowie dessen Fahrstil bei einer vorausschauenden Wahl des Fahrzustandes, interessant. So kann je nach Fahrprofil von der Betriebsstrategie ein entsprechendes Einsparpotential mittels Prädiktionsinformationen

(aus GPS-Daten, Fahrerassistenz-Sensorik) und einem nachgelagerten Fahrermodell abgeschätzt werden (vgl. Abb. 2). Dazu werden im Fahrermodell

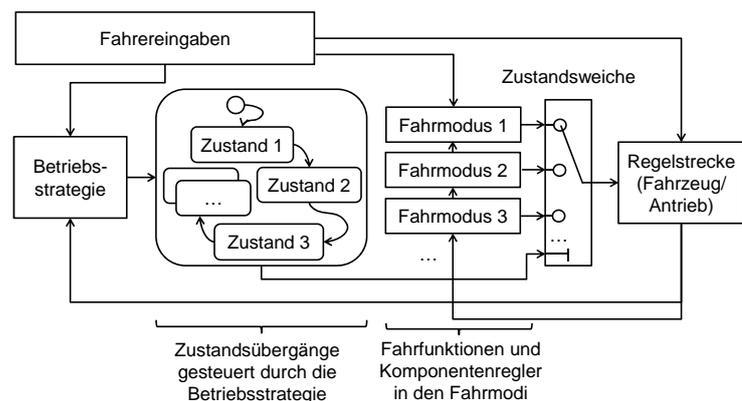


Abbildung 1: Zusammenwirken Betriebsstrategie und Fahrfunktionen

verschiedene Fahrertypen durch eine Fuzzylogik berücksichtigt um eine stabile Prädiktion zu erreichen.

In den Forschungsbereichen von industriellen Automatisierungsanlagen und dem intelligenten Betrieb von Energienetzen (Smart Grid) werden in den letzten Jahren der Einsatz von Multi-Agenten-Systemen untersucht. Diese ermöglichen eine dynamische Rekonfiguration zur Steigerung der Zuverlässigkeit [4]. Für die Lösung des Optimierungsproblems einer Betriebsstrategie zur Laufzeit, wird daher ein hierarchisches Multi-Agenten-System vorgeschlagen. Die Strategie berücksichtigt dabei die unterschiedlichen Bedarfe von Antriebskomponenten und Fahrer in Form

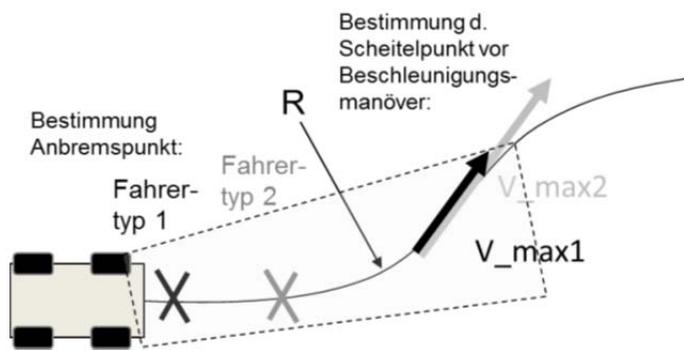


Abbildung 2: Verhalten von Fahrertypen infolge einer Kurvensituation

von Agenten. Die Ausnutzung des Fahrermodells zur Prädiktion der zukünftigen Lastszenarien steht dabei im Mittelpunkt. Durch parallele Voraussimulation des Fahrermodells, werden mögliche Szenarien für die Antriebsagenten berechnet und somit der Verbrauch kalkuliert. Durch die Verhandlung der Agenten im Gesamtsystem werden

optimale Lösungen zur Laufzeit berechnet und ausgewählt. Zusammen mit dem Simulationsmodell eines Hybridfahrzeugs wird abschließend evaluiert, welche Auswirkungen der Ansatz auf das Systemverhalten zeigt und welche Einsparpotentiale sich ergeben.

Literatur:

- [1] S. Kutter and B. Baker, "Predictive online control for hybrids: Resolving the conflict between global optimality, robustness and real-time capability," in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1–7.
- [2] A. Jörg, "Optimale Auslegung und Betriebsführung von Hybridfahrzeugen," Technische Universität München, 2008.
- [3] T. Müller, H. Hajek, L. Radic-Weissenfeld, and K. Bengler, "Can You Feel The Difference? The Just Noticeable Difference of Longitudinal Acceleration," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 57, no. 1, pp. 1219–1223, Sep. 2013.
- [4] D. Schütz, A. Wannagat, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, "Development of PLC-Based Software for Increasing the Dependability of Production Automation Systems," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 9, no. 4, pp. 2397–2406, 2013.

Regelkreise der Verkehrssicherheit

René S. Hosse *

Eckehard Schnieder *

* Inst. für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik
Technische Universität Braunschweig
Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig
Telefon: 0531/391-3328
Fax: 0531/391-5197
E-Mail: hosse@iva.ing.tu-bs.de

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine systemtheoretische Gefährdungsanalyse für die Untersuchung des Verkehrssystems durchgeführt. Ziel der Untersuchung ist die Identifikation vermaschter Regelkreise im Verkehrssystem.

Der Analysegegenstand der Verkehrssicherheit erfordert einen interdisziplinären Forschungsansatz, da eine isolierte Betrachtung nicht zielführend ist. Ereigniskettenbasierte Analysewerkzeuge, wie FMEAs, vernachlässigen die kaskadierten Wirkbeziehungen der Ressourcen komplexer sozio-technischer Systeme. Die Gefährdungsanalyse STAMP (Systems-Theoretic Accident Modeling and Process) stellt eine performante Methodik dar, welche die komplexen Wirkbeziehungen divergenter Systemressourcen innerhalb von statischen Regelungsstrukturen und dynamischen System Dynamics Modellen abbildet und Sicherheit als fehlende Verhaltensbeschränkungen innerhalb der Systemstruktur definiert. Im systemischen Kontext dieser Arbeit definiert sich folglich die Verkehrssicherheit als strukturelle Anpassung des Verkehrssystems mit Hilfe interdisziplinärer Maßnahmen, welche eine Zustandstransition in den Schaden exkludieren.

Die Ergebnisse zeigen die politischen, gesellschaftlichen, verkehrlichen, marktwirtschaftlichen und psychologischen Regelkreise im Verkehrssystem. Ein hohes Gefährdungspotential wird dem defizitären Regelkreis über das Bewusstsein vom Fahrer bzgl. der vorliegenden Beherrschbarkeit gegebener Fahrsituation zugeordnet, so auch die Länge der Rückkopplungen, welche einen Einfluss auf das Fahrverhalten ausüben. Die Systemstruktur zeigt insgesamt ein stabilisierendes Verhalten, daher kann gezeigt werden, dass das Verkehrssystem auf die Reduzierung von Unfällen ausgelegt ist.

Als Lösungsansatz zur Steigerung der Verkehrssicherheit, wird die Implementierung des „VIDE!“-Displays vorgestellt, welches den Grad an Beherrschbarkeit einer Fahrsituation visualisiert. Es ermöglicht somit eine Verkürzung der Rückkopplungsschleifen in der Systemstruktur. Ebenso gestaltet sich die Implementierung von PAYD-Versicherungen (pay-as-you-drive) und stellt ein sicherheitsförderndes Belohnungssystem für die Fahrer bereit.

Kurzfassungen

Kurzfassungen zum Download unter:

www.iosb.fraunhofer.de/?Boppard

Donnerstag, 20. Februar 2014

10:30 – 12:00 Vernetzte Systeme Sitzungsleitung: Prof. Findeisen		Regelung von Aktoren Sitzungsleitung: Prof. Sawodny
10:30 – 11:00	Selbstorganisation in vernetzten Regelungssystemen <i>René Schuh (Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und Prozessinformatik, Ruhr-Universität Bochum, Prof. Lunze, Gr. 3)</i>	Modellbasierte Regelung einer permanent-erregten Synchronmaschine mit Sättigung <i>David Faustner (Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, TU Wien, Prof. Kugi, Gr. 29)</i>
11:00 – 11:30	Regelung verteilter LPV-Systeme bei zeitveränderlicher gerichteter Interaktion <i>Annika Eichler (Institut für Regelungstechnik, TU Hamburg-Harburg, Prof. Werner, Gr. 13)</i>	LQ-basierte Mid-Ranging-Regelung zur Leerlaufregelung eines Hybridantriebsstrangs <i>Christoph Kandler (Fachgebiet Automatisierungstechnik und komplexe Systeme, Universität Duisburg-Essen, Prof. Ding, Gr. 11)</i>
11:30 – 12:00	Zur qualitativen Analyse großer, verkoppelter Systeme auf Inverse-Response-Verhalten <i>Andreas Geiger (Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik, Universität Kassel, Prof. Kroll, Gr. 19)</i>	Steuerung und Regelung der horizontalen Fahrzeugbewegung mit Einzelradaktorik <i>Jan-Erik Moseberg (Lehrstuhl für Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, Prof. Roppenecker, Gr. 12)</i>

Selbstorganisation in vernetzten Regelungssystemen

René Schuh *

Jan Lunze **

* Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und
 Prozessinformatik (ATP)
 Ruhr-Universität Bochum
 Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
 Tel. 0234 32 25203
 Fax 0234 32 14101
 schuh@atp.rub.de

** Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und
 Prozessinformatik (ATP)
 Ruhr-Universität Bochum
 Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
 Tel. 0234 32 24071
 Fax 0234 32 14101
 lunze@atp.rub.de

Schlüsselwörter: Digital vernetzte Regelungssysteme, Selbstorganisation, Multiagentensysteme

Die zunehmende Vernetzung technischer Systeme macht es möglich, dass Teilregler von Teilsystemen immer dann Informationen austauschen, wenn dies für die Gewährleistung einer bestimmten Regelgüte notwendig ist. Hierfür müssen Regelungsmethoden entwickelt werden, bei denen die Teilregler anhand von lokal verfügbaren Modell- und Messinformationen entscheiden, welche Informationsverbindungen sie im aktuellen Systemzustand nutzen müssen. Da diese Regelungen keine koordinierende Komponente enthalten sollen, entsteht ihre Kopplungsstruktur durch Selbstorganisation.

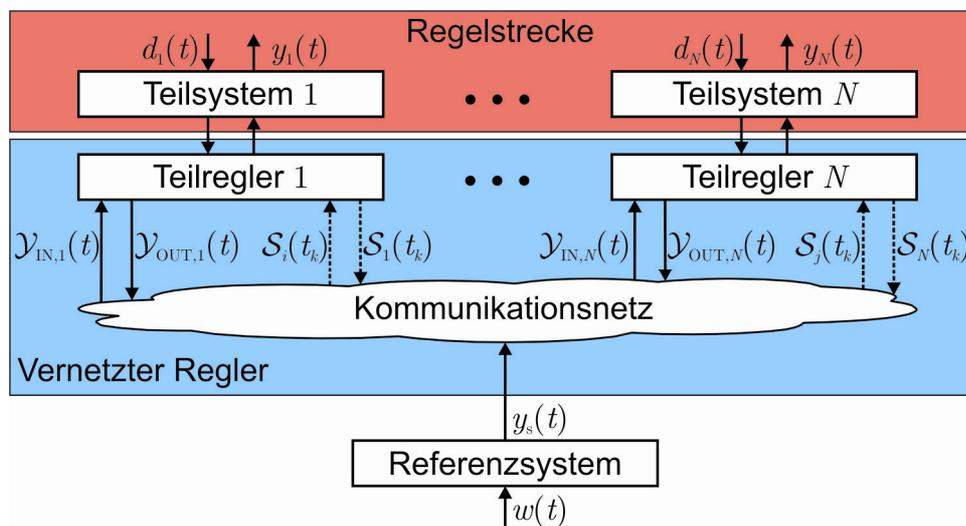


Abbildung 1: Vernetzte Regelung für ein Multiagentensystem

Abbildung 1 zeigt den typischen Aufbau eines digital vernetzten Regelungssystems mit Regelstrecke und vernetztem Regler. Die Regelstrecke ist hier ein Multiagentensystem, das sich aus N physikalisch nicht gekoppelten Teilsystemen (Agenten) zusammensetzt, die aber ein gemeinsames Regelungsziel haben. Der vernetzte Regler besteht aus N Teilreglern, die Zugriff auf lokale Informationen der Teilsysteme haben, und einem Kommunikationsnetz, über das die Teilregler Informationen austauschen können.

Die Teilregler müssen drei Aufgaben erfüllen: Erstens soll durch ein Rückführgesetz Sollwertfolge und Störkompensation für das Teilsystem gewährleistet werden.

Zweitens soll die aktuelle Situation der Teilsysteme bzw. des Gesamtsystems erkannt werden (z. B. Einwirkung einer Störung, Änderung der Führungsgröße). Drittens sollen entsprechend der aktuellen Situation Informationen an andere Teilregler gesendet, oder von diesen angefordert werden, um eine bestimmte Regelgüte einzuhalten. Beim Anfordern von Informationen sendet der Teilregler i Informationsanfragen $\mathcal{S}_i(t_k)$ zu bestimmten Ereigniszeitpunkten t_k an andere Teilregler bzw. erhält Informationsanfragen $\mathcal{S}_j(t_k)$ von anderen Teilreglern j . Dadurch wird die Kommunikationsstruktur (empfangene Informationen $\mathcal{Y}_{\text{IN},i}(t)$ und gesendete Informationen $\mathcal{Y}_{\text{OUT},i}(t)$) der aktuellen Situation angepasst.

In diesem Vortrag werden Konzepte zur Störkompensation und zur Führungsgrößenfolge unter Verwendung eines selbstorganisierenden Reglers für Multiagentensysteme vorgestellt. Die Agenten sollen einer Referenztrajektorie $y_s(t)$ folgen, die von einem Referenzsystem (*leader*) generiert wird, wodurch eine sogenannte *Leader-follower*-Struktur entsteht. Die Agenten sind über eine Basiskommunikationsstruktur vernetzt, die eine Synchronisation der Agenten auf die Referenztrajektorie $y_s(t)$ sicherstellt.

Konzepte zur Störkompensation. Wirkt eine Störung $d_i(t)$ auf ein Teilsystem, so beeinflusst diese auch die benachbarten Teilsysteme, die über das Kommunikationsnetz mit dem gestörten Teilsystem gekoppelt sind. Zur Reduzierung der Störausbreitung schalten die selbstorganisierten Teilregler die Kommunikation ab ($\mathcal{Y}_{\text{OUT},i} = \{\emptyset\}$), wenn die Störung einen kritischen Wert überschreitet. Die Wirkung der Störung wird hierfür lokal mit einem Zustandsbeobachter rekonstruiert. Der Vortrag zeigt, dass unter Verwendung des vernetzten Reglers eine quantitative Schranke für den Synchronisationsfehler der ungestörten Teilsysteme existiert, die abhängig von der Wahl der Bedingung zur Deaktivierung der Kommunikation ist.

Konzepte zur Führungsgrößenfolge. Durch eine Änderung des Sollwertes $w(t)$ ändert sich die Referenztrajektorie $y_s(t)$, auf welche die Agenten synchronisieren sollen. Zur Reduzierung des Synchronisationsfehlers sollen die Teilregler zusätzliche Information austauschen, wenn der Regelfehler einen kritischen Wert überschreitet. Der Vortrag zeigt, dass unter Verwendung des vernetzten Reglers eine quantitative Schranke für den Synchronisationsfehler existiert, die abhängig von der Wahl der Bedingung zur Aktivierung der zusätzlichen Kommunikation ist.

Die Wirksamkeit der beiden vorgestellten selbstorganisierenden Regelungskonzepte wird anhand von autonomen Fahrzeugen demonstriert.

Literatur:

- [1] J. Lunze. Self-organising disturbance attenuation in unidirectionally coupled synchronised systems. In *Proc. 19th IFAC World Congress, 2013*, eingereicht.
- [2] R. Schuh, J. Lunze. Self-organized control with information request for command tracking in unidirectionally coupled multi-agent systems. In *Proc. 13th European Control Conf., 2014*, eingereicht.

Regelung verteilter LPV-Systeme bei zeitveränderlicher gerichteter Interaktion

Annika Eichler *

Herbert Werner **

* Institut für Regelungstechnik
Technische Universität Hamburg-Harburg
Eissendorfer Straße 40
+49 40 42878 4277
+49 40 42 878 2112
Annika.Eichler@tuhh.de

**Institut für Regelungstechnik
Technische Universität Hamburg-Harburg
Eissendorfer Straße 40
+49 40 42878 3015
+49 40 42 878 2112
H.Werner@tuhh.de

Schlüsselwörter: Verteilte Systeme, verteilte Regelung, LPV Systeme

Verteilte Systeme erlangen durch vielfältige Anwendungen, wie drahtlose Sensornetzwerke, Energieinformationsnetze oder kooperative Regelung von autonomen Agenten, steigendes Interesse. Hierbei handelt es sich um eine Schar gleichartiger gekoppelter Subsysteme, wobei die Kopplung sowohl physikalisch sein kann, [6], als auch rein virtuell durch Informationsaustausch, wie es bei Multi-Agenten Systeme der Fall ist [9]. Unter dem Begriff *Decomposable Systems* wird in [7] einen Rahmen für die Modellierung solcher Systeme vorgeschlagen; in [8] wird gezeigt, wie mithilfe der *Full-Block S-Procedure* [10] eine auf verteilter Zustandsrückführung beruhende Regelung effizient durch Lösung eines LMI-Problems entworfen werden kann, wobei die Änderungen der Interaktionstopologie als Unsicherheit betrachtet und als LFT (*Linear Fractional Transformation*) modelliert werden.

In diesem Vortrag wird gezeigt, wie sich mithilfe der *Full-Block S-Procedure* die in [8] vorgeschlagene Reglersynthese von verteilten LTI-Systemen auf verteilte LPV-Systeme erweitern lässt [2,5]. Abbildung 1 stellt ein verteiltes LPV-System schematisch dar. Dadurch lassen sich auch verteilte Systeme mit nichtlinearen oder zeitveränderlichen Subsystemen modellieren und robust oder durch *Gain Scheduling* regeln. Für Multiagentensysteme eröffnet dies die Möglichkeit, kooperative Regelungen für Agenten mit nichtholonomen Beschränkungen zu entwerfen.

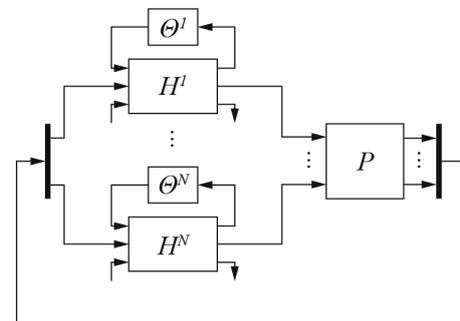


Abbildung 1 Verteiltes LPV-System mit Subsystemen H und Interaktionstopologie P

Es wird eine hinreichende Bedingung für robuste Stabilität und Regelgüte vernetzter Systeme mit gerichteter Interaktionstopologie vorgestellt, wobei sich Robustheit sowohl gegenüber Parameteränderungen der LPV-Subsysteme als auch gegenüber unsicherer oder schaltenden Topologien innerhalb einer vorgegebenen Menge zeigen lässt. Damit werden die in [8] für unsichere aber konstante symmetrische und diagonalisierbare Interaktionstopologien vorgestellten Ergebnisse auf unsymmetrische und unsichere oder zeitveränderliche Interaktionstopologien erweitert. Während in [8] die Analyse für das gesamte verteilte System auf ein Subsystem reduziert werden kann, müssen hier allerdings eventuell mehrere Subsysteme betrachtet werden, wobei die Komplexität des zu lösenden Problems von der Anzahl und Größe der Jordanblöcke der Interaktionstopologien bestimmt wird. Was die Robustheit gegen Veränderungen der Topologie angeht, muss

zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Topologien unterschieden werden: Während sich für zeitveränderliche aber symmetrische Topologien die Analyse – wie in [5] gezeigt – auf ein Subsystem reduzieren lässt, ist dies bei unsymmetrischen Topologien nicht der Fall. Auch hier lässt sich unter bestimmten Annahmen das System vereinfachen, so dass die Komplexität statt mit $O(N^2^m)$ im schlechtesten Fall mit $O(Nm)$ wächst, wobei N die Anzahl der Subsysteme und m die Anzahl der möglichen Topologien ist. Der hier vorgeschlagene, auf der *Full-Block S-Procedure* beruhende Ansatz bietet zudem die Möglichkeit, die Analyse wie in [3] gezeigt auf Systeme mit zeitlich verzögerter Interaktion mithilfe von IQCs (*Integral Quadratic Constraints*) zu erweitern.

Die vorgestellten Analyseergebnisse können, wie in [2,4,5] gezeigt, zur robusten bzw. *Gain Scheduling* Reglersynthese verwendet werden, wobei statt einer Zustandsrückführung wie in [8] eine Ausgangsrückführung entworfen wird.

Literatur:

- [1] Eichler; C. Hoffmann; H. Werner (2013): Robust Control of Decomposable LPV Systems Under Time-Invariant and Time-Varying Interconnection Topologies (Part 1). In : 52nd IEEE Conference on Decision and Control. Online: <http://www.tuhh.de/~rtsae/EiHoWe13a.htm>
- [2] Eichler; C. Hoffmann; H. Werner (2013b): Robust Control of Decomposable LPV Systems Under Time-Invariant and Time-Varying Interconnection Topologies (Part 2). In : 52nd IEEE Conference on Decision and Control. Online: <http://www.tuhh.de/~rtsae/EiHoWe13b.htm>
- [3] Eichler; C. Hoffmann; H. Werner (2013c): Robust Stability Analysis of Interconnected Systems with Uncertain Time-Varying Time Delays via IQCs. In : 52nd IEEE Conference on Decision and Control. Online: <http://www.tuhh.de/~rtsae/EiHoWe13.htm>
- [4] Hoffmann; A. Eichler; H. Werner (2013): Control of Heterogeneous Groups of LPV Systems Interconnected through Directed and Switching Topologies. In *IEEE Transactions on Automatic Control*, submitted.
- [5] Hoffmann; A. Eichler; H. Werner (2013): Distributed Control of Linear Parameter-Varying Decomposable Systems. In : American Control Conference, pp. 2386–2391. Online: <http://www.tuhh.de/~rtsch/HoEiWe13.htm>
- [6] D'Andrea, R.; Dullerud, G. E. (2003): Distributed control design for spatially interconnected systems. *Automatic Control, IEEE Transactions on*. In *Automatic Control, IEEE Transactions on* 48 (9), pp. 1478–1495.
- [7] Massioni, P. (2010): Decomposition Methods for Distributed Control and Identification. PhD. Delft University of Technology, Netherlands.
- [8] Massioni, P.; Verhaegen, M. (2010): A full block S-procedure application to distributed control. In: American Control Conference , 2010, pp. 2338–2343.
- [9] Murray, Richard M. (2007): Recent Research in Cooperative Control of Multivehicle Systems. In *J. Dyn. Sys., Meas., Control* 129 (5), pp. 571–583.
- [10] Scherer, C. W. (2001): LPV control and full block multipliers. In *Automatica* 37 (3), pp. 361–375.

Zur qualitativen Analyse großer, verkoppelter Systeme auf Inverse-Response-Verhalten

Andreas Geiger *

* Mess- und Regelungstechnik
Fachbereich Maschinenbau
Universität Kassel
Mönchebergstr. 7, 34125 Kassel
Tel.: +49 (0) 561 804 2849
Fax: +49 (0) 561 804 2847
andreas.geiger@mrt.uni-kassel.de

Andreas Kroll **

** Mess- und Regelungstechnik
Fachbereich Maschinenbau
Universität Kassel
Mönchebergstr. 7, 34125 Kassel
Tel.: +49 (0) 561 804 2849
Fax: +49 (0) 561 804 2847
andreas.kroll@mrt.uni-kassel.de

Schlüsselwörter: Systemanalyse, Large-Scale Systems, Inverse-Response-Verhalten, komplexe Netzwerke

In der produzierenden Industrie findet eine zunehmende Vernetzung im Bereich der Energie-, Stoff- und Informationsströme statt. Dies trägt dazu bei, die Effizienz und Effektivität von Produktionsanlagen zu steigern und Wettbewerbsvorteile zu schaffen. Im Rahmen der zunehmenden Verkopplung ist es die Aufgabe der Automatisierungssysteme, immer größere Bereiche von Anlagen, bis hin zu Produktionsverbänden, zu steuern, zu überwachen und zu regeln. Eine Herausforderung bei der Entwicklung geeigneter Automatisierungssysteme ist die zunehmende Größe, Verkopplung und daraus resultierende Komplexität von Anlagen. Hierfür sind Analysemethoden wünschenswert, welche bereits in einem frühen Stadium der Entwicklung eingesetzt werden können, das durch die Verkopplungen bedingte Systemverhalten berücksichtigen und mit moderatem Aufwand durchführbar sind. Gerade bei der Konzeptentwicklung von Anlagen und Automatisierungen sind einfach zu generierende, qualitative Aussagen zur Bewertung verschiedener Ansätze nützlich.

In dem Beitrag wird eine Untersuchungsmethode für Inverse-Response-Verhalten großer, verkoppelter Systeme vorgestellt. Die Methode ermöglicht, basierend auf einer Systembeschreibung als komplexes Netzwerk, eine qualitative Aussage über mögliches Auftreten von Inverse-Response-Verhalten innerhalb einer Anlage. Weist ein System solches Verhalten auf, so verläuft der Ausgangswert nach einer Änderung des Eingangswerts zunächst entgegengesetzt zum stationären Endwert. Dies ist bei der Auslegung einer Regelung zu berücksichtigen, da zunächst eine Vergrößerung des Regelfehlers auftritt und ein unerwünschtes Verhalten des Reglers zu vermeiden ist. Der vorgestellte Detektionsalgorithmus verwendet für die Modellierung und Analyse des Systems das Konzept der komplexen Netzwerke. Im Bereich der Soziologie, Biologie sowie der Physik werden komplexe Netzwerke als eine Beschreibungs- und Untersuchungsmethode für große Systeme mit komplexer Verkopplung und dem daraus resultierenden Verhalten verwendet. Dabei ist es üblich, auf statistische Analysemethoden zurückzugreifen. Um eine sinnvolle Analyse von technischen Anlagen und ihrem dynamischen Verhalten zu ermöglichen, wird zur Systembeschreibung ein Graph verwendet, bei dem die dynamischen Parameter des Systems über die Kantengewichte dargestellt sind, siehe Abbildung 1. Zur Untersuchung des Systems werden die Pfade zwischen seinen Ein- und Ausgängen bestimmt. Für jeden Pfad wird anschließend anhand der zugehörigen Kantengewichte die Pfadverstärkung sowie auf Basis der Summenzeitkonstante eine repräsentative Zeitkonstante des Pfades bestimmt. Über den Vergleich der ermittelten

Parameter der einzelnen Pfade lässt sich abschließend eine qualitative Aussage treffen, ob in dem untersuchten System Inverse-Response-Verhalten auftreten kann oder nicht.

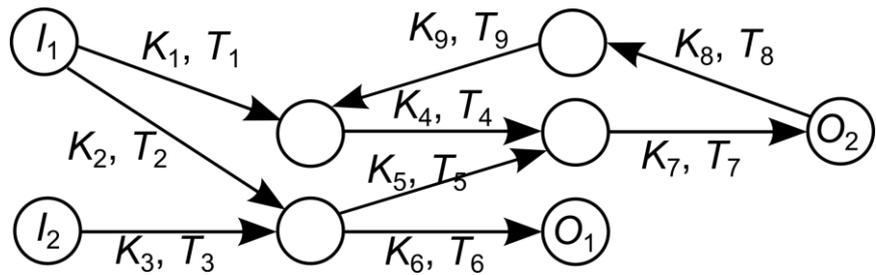


Abbildung 1: Systembeschreibung als Graph

Das Vorgehen und die Grenzen der Detektionsmethode werden beispielhaft an der Modellfabrik μ Plant aufgezeigt. Diese wurde im Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik konzeptioniert und ist in ersten Teilen aufgebaut. Ihr prozesstechnischer Teil stellt eine Forschungsplattform zur Verfügung, an der die Systemanalyse anwendungsnah getestet werden kann.

Modellbasierte Regelung einer permanent-erregten Synchronmaschine mit Sättigung

David Faustner *

Andreas Kugi **

* Institut für Automatisierungs- und Regelungs-
technikTechnische Universität Wien
Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien
+43 (0)1 58801 – 376294
faustner@acin.tuwien.ac.at** Institut für Automatisierungs- und Regelungs-
technikTechnische Universität Wien
Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien
+43 (0)1 58801 – 37614
kugi@acin.tuwien.ac.at

Schlüsselwörter: permanenterregte Synchronmaschine, Sättigung, magnetisches Ersatzschaltbild, nichtlineare Regelung

Permanenterregte Synchronmaschinen (PSM) sind in industriellen Anwendungen weit verbreitet. Magnetmaterialien aus der Gruppe der seltenen Erden (z.B. Neodym-Eisen-Bor) ermöglichen die Erzeugung hoher Drehmomente und die fehlenden Rotorwicklungen führen zu energieeffizienten Antrieben in kompakter Baugröße. Die resultierenden günstigen Verhältnisse zwischen Drehmoment und Trägheitsmoment machen PSM zu geeigneten Antrieben für Anwendungen, wo hohe Beschleunigungen gefordert werden. Der kurzzeitige, durch die thermische Belastbarkeit begrenzte Betrieb einer PSM mit mehrfachem Nennmoment führt in einen Arbeitsbereich der Maschine, in dem magnetische Sättigungserscheinungen nicht mehr vernachlässigt werden können und die Regelungskonzepte vor große Herausforderungen stellt.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Veröffentlichungen zur Konstruktion von PSM publiziert. Die vorgestellten Modelle können überblicksmäßig in Finite-Elemente (FE) Modelle, magnetische Ersatzschaltbilder (Reluktanzmodelle) und klassische dq0-Modelle zusammengefasst werden. FE-Modelle erlauben genaue Feldberechnungen im gesamten Betriebsbereich des Motors, auch für komplexere Geometrien, siehe z.B. [1], [2]. Andererseits sind diese Modelle aufgrund der numerischen Komplexität für dynamische Simulationen und für systematische Reglerentwürfe weniger gut geeignet.

Als Basis für Reglerentwürfe von PSM dienen meist klassische dq0-Modelle, welche eine homogene Luftspaltgeometrie, sinusförmige Flussverteilungen und magnetisch lineares Materialverhalten voraussetzen, siehe z.B. [3]. Zahlreiche Bauformen von PSM verletzen diese Annahmen zumindest teilweise, sei es durch inhomogene Luftspaltgeometrien (z.B. PSM mit innenliegenden Magneten), nicht sinusförmigen Flussverteilungen (z.B. durch Einzelzahnwicklungen) oder durch den Betrieb der Motoren im Sättigungsbereich. Um diese Effekte (teilweise) zu berücksichtigen, werden in der Literatur Erweiterungen zum klassischen dq0-Modell vorgeschlagen, welche meist heuristischer Natur und auf spezielle Motorkonstruktionen zugeschnitten sind, siehe z.B. [4], [5]. Häufig sind diese Erweiterungen nicht in der Lage, das Motorverhalten im gesamten Betriebsbereich ausreichend genau abzubilden.

In letzter Zeit werden häufig Reluktanzmodelle für Motorkonstruktionen und zur (dynamischen) Simulation des Betriebsverhaltens von PSM verwendet, siehe z.B. [6], [7]. Die Möglichkeit der Berücksichtigung von inhomogener Luftspaltgeometrie und nichtlinearem Materialverhalten sowie die deutlich reduzierte Komplexität im Vergleich zu FE-Modellen im Hinblick auf eine ausreichend genaue Beschreibung der

globalen Motorgrößen (Spannung, Strom, Moment) macht Reluktanzmodelle zu einer guten Basis für die dynamische Simulation und den (nichtlinearen) Reglerentwurf.

In diesem Vortrag wird die Modellierung und Regelung einer PSM mit Oberflächenmagneten und Zahnspulenwicklungen, wie in Abbildung 1 dargestellt, analysiert. Zur systematischen Berücksichtigung von magnetischer Sättigung wird ein Modell auf Basis eines magnetischen Ersatzschaltbildes erstellt. Dabei wird zu Beginn auf die Wahl der Struktur des magnetischen Ersatzschaltbildes und die maßgeblichen magnetischen Widerstände (Reluktanzen) eingegangen. Anschließend wird ein systematischer Zugang zur Lösung der Netzwerkgleichungen mit Hilfe der Graphentheorie vorgestellt. Das Ziel dabei ist, ein Modell in Zustandsdarstellung mit einer minimalen Anzahl an nichtlinearen Gleichungen und Zuständen zu erhalten. Das resultierende Simulationsmodell wird mit Messungen am realen Motor verglichen. Um die Abweichungen in manchen Betriebsbereichen zu verbessern, wird eine systematische Kalibration des Modells vorgeschlagen. Anschließend wird untersucht, wie die Motorströme in Abhängigkeit von der Rotorstellung optimal vorzugeben sind, damit ein konstantes Drehmoment erzeugt wird und die Kupferverluste in den Strangwicklungen minimiert werden. Diese Informationen werden in weiterer Folge für den modellbasierten Regelungsentwurf mitberücksichtigt. Die resultierende Regelungsstrategie wird anhand von Simulationen und Messungen auf ihre Güte untersucht. Der Vortrag schließt mit einem Ausblick auf weitere Arbeiten.

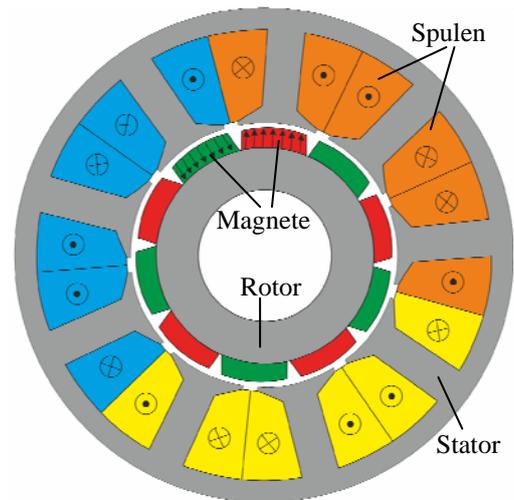


Abbildung 1: Querschnitt des Motors.

Literatur:

- [1] D. M. Ionel und M. Popescu, "Finite-element surrogate model for electric machines with revolving field: Application to ipm motors", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 46, pp. 2424-2433, 2010.
- [2] B. Tomczuk, G. Schröder und A. Waindok, "Finite-element analysis of the magnetic field and electromechanical parameters calculation for a slotted permanent-magnet tubular linear motor", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 43, pp. 3229-3236, 2007.
- [3] W. Leonhard, Control of Electrical Drives, 2nd ed., Springer, 1997.
- [4] D. Grenier und J.-P. Louis, "Modeling for control of non-sinewave permanent-magnet synchronous drives by extending Park's transformation", Mathematics and Computers in Simulation, vol. 38, pp. 445-452, 1995.
- [5] Y. Ait-gougam et al., "Inverse modelling and pulsating torque minimization of salient pole non-sinusoidal synchronous machines", Electric Power Systems Research, vol. 78, pp. 88-96, 2008.
- [6] S. Serri, A. Tani und G. Serra, "A method for non-linear analysis and calculation of torque and radial forces in permanent magnet multiphase bearingless motors", in Proceedings of the International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Sorrento, Italy, pp. 75-82, 2012.
- [7] V. Ostovic, Dynamics of Saturated Electric Machines, Springer, 1989.

LQ-basierte Mid-Ranging-Regelung zur Leerlaufregelung eines Hybridantriebsstrangs

Christoph Kandler *

* Automatisierungstechnik und komplexe Systeme
Universität Duisburg-Essen
Bismarckstr. 81
0203 379 4292
0203 379 2928
christoph.kandler@uni-due.de

Tim Könings **

** Automatisierungstechnik und komplexe Systeme
Universität Duisburg-Essen
Bismarckstr. 81
0203 379 4293
0203 379 2928
tim.koenings@uni-due.de

Schlüsselwörter: eingangsredundante Systeme, Leerlaufregelung, Hybridantrieb

Getrieben durch kontinuierlich strenger werdende Abgasnormen findet die Kombination von Verbrennungskraftmaschine (VKM) und Elektromotor (EM) zunehmenden Einsatz in modernen Kraftfahrzeugen. Diese Hybridisierung des Antriebsstrangs bietet vielfältige Möglichkeiten zur Steigerung der Kraftstoffeffizienz bzw. Verbesserung des Emissionsverhaltens. Durch die somit steigende Komplexität entstehen neue Herausforderungen für die Auslegung der im Antriebsstrang benötigten Regelschleifen.

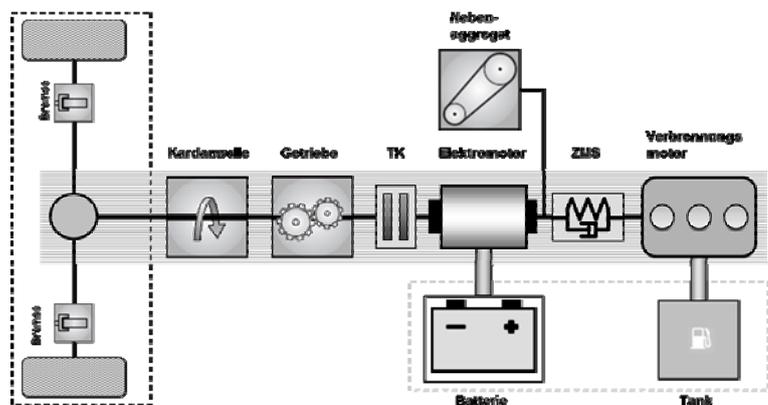


Abbildung 1: Hybridantriebsstrang

In diesem Beitrag wird eine Parallelhybridanordnung (Abb. 1), bestehend aus einem Ottomotor und einer EM, betrachtet. Üblicherweise werden in dieser Anordnung die beiden Stellglieder mittels eines Zweimassenschwingers (ZMS) gekoppelt. Diese Kopplung ermöglicht die Umsetzung einer neuen Strategie für die Leerlaufregelung des Antriebsstrangs. Bei der konventionellen Leerlaufregelung von Ottomotoren wird zur Sicherstellung einer geforderten Regelgüte eine sogenannte Momentenreserve eingeführt [1]. Diese Momentenreserve wird durch eine Spätverstellung des Zündwinkels erreicht und dient zur schnellen Ausregelung von Störungen, wie z.B. Lastmomenten. Unumgänglich wird diese Stellreserve durch einen erhöhten Kraftstoffverbrauch erkauft.

Die Parallelhybridanordnung ermöglicht unter Ausnutzung der hohen Bandbreite der EM den Entfall der Momentenreserve bei der Betriebswahl der VKM. Folglich kann diese zündwinkel- und somit verbrauchsoptimal betrieben werden. Schwankungen in der Kurbelwellendrehzahl müssen so durch geeignete Regeleinriffe über das EM-Moment kurzfristig ausgeglichen werden. Mittelfristig muss jedoch eine Möglichkeit gegeben sein, die EM in einem definierten Arbeitspunkt zu betreiben, um ggf. einer Ladestrategie für die Hybridbatterie nachzukommen. Erschwert wird diese Aufgabe durch den schwingungsfähigen Charakter des ZMS.

Es wird ein Regelungskonzept vorgestellt, welches einerseits die Leerlaufregelung unter Ausnutzung der EM als zweites Stellglied sicherstellt, andererseits den Betrieb der EM als Generator durch eine Lastpunktverschiebung ermöglicht. Weitere Herausforderungen liegen in dem nichtlinearen Verhalten der Saugrohrdruckdynamik. Dieser wird durch eine Linearisierung Rechnung getragen, die auf nichtlinearer Invertierung basiert. Des Weiteren sind die Momentenerzeugung von VKM und EM totzeitbehaftet.

Die Koordination der zwei Stellglieder wird durch eine unter dem Begriff „mid-ranging control“ (MR) [2] bekannte Reglerstruktur sichergestellt (Abb. 2) [3]. Die Eigenschaften dieser anschaulichen Struktur

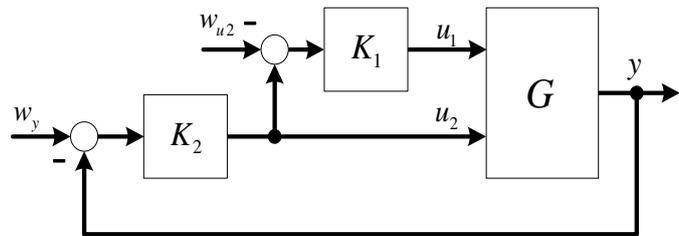


Abbildung 2: „Mid-ranging“ Struktur

werden im Rahmenwerk der linear-quadratisch optimalen (LQ) Regelung umgesetzt. Dadurch wird die Stabilität des Regelkreises, unter Nichtberücksichtigung der Totzeiten sichergestellt, und vermieden, dass die Stellglieder gegeneinander arbeiten. Eine Erweiterung des LQ-Reglers um Frequenzgewichte ermöglicht außerdem die Berücksichtigung der Stellgliedeigenschaften und des, durch den ZMS hervorgerufenen, schwingungsfähigen Antriebsstrangverhaltens.

Die Analyse der Regelkreisstabilität unter Berücksichtigung der Totzeiten und der mechanischen Lose, hervorgerufen durch den ZMS, wird durch ein geeignetes Lyapunov-Krysovskii Funktional ermöglicht.

Die Leistungsfähigkeit des Regelungskonzepts wird anhand von Messungen aus einem hybridisierten PKW-Prototypen demonstriert. Dazu wurde das Regelungskonzept mittels Rapid Prototyping implementiert und für die Leerlaufregelung eines Hybridantriebsstrangs eingesetzt.

Literatur:

- [1] R. G. Ford und K. Glover: „An Application of Coprime Factor Based Anti-Windup and Bumpless Transfer Control to the Spark Ignition Engine Idle Speed Control Problem“, IEEE Conference on Decision and Control, 2000
- [2] B. J. Allison und A. J. Isaksson, „Design and performance of mid-ranging controllers,“ Journal of Process Control, vol. 8, pp. 469–474, 1998
- [3] C. Kandler, T. Könings, S.X. Ding, F. Wobbe, N. Weinhold, M. Schultalbers, „Leerlaufregelung eines Hybridantriebsstrangs“, 6. Fachtagung AUTOREG 2013, Baden-Baden

Steuerung und Regelung der horizontalen Fahrzeugbewegung mit Einzelradaktorik

Jan-Erik Moseberg *

* Lehrstuhl für Regelungstechnik
Friedrich-Alexander Universität
Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 7, 91054 Erlangen
Telefon: +49-(0)9131-8527132
Fax: +49-(0)9131-8528715
jan-erik.moseberg@fau.de

Günter Roppenecker **

** Lehrstuhl für Regelungstechnik
Friedrich-Alexander Universität
Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 7, 91054 Erlangen
Telefon: +49-(0)9131-8527127
Fax: +49-(0)9131-8528715
guenter.roppenecker@fau.de

Schlüsselwörter: Fahrdynamikregelung, Einzelradaktorik, nichtlineare Regelung, modellbasierte Regelung

Im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs und der abzusehenden Einführung der X-by-Wire-Technologie im Fahrzeugbereich sind neben der konventionellen Fahrzeugkonfiguration mit einem zentralen Antriebsaggregat und Vorderachslenkung komplexere Fahrzeugarchitekturen mit verteiltem Antrieb und/oder radindividueller Lenkung denkbar. Wird jede Radeinheit mit einem Antriebs- und einem Lenkaggregat ausgestattet, resultiert ein Fahrzeug, welches bezüglich der Realisierung einer Horizontalbewegung die größtmögliche Anzahl an Stelleingriffsmöglichkeiten aufweist. Für ein derartiges Fahrzeug mit Einzelradaktorik wird am Lehrstuhl für Regelungstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg auf Grundlage von [1] an einer integrierten Fahrdynamikregelung geforscht. Ihre Aufgabe besteht prinzipiell darin, eine vorgegebene ebene Fahrzeugbewegung durch radindividuelle Stelleingriffe zu realisieren. Da der Fahrer durch Betätigung von Lenkrad sowie Gas- und Bremspedal die gewünschte horizontale Fahrzeuggeschwindigkeit selbst einregelt, wird die durch Regelung einzustellende ebene Fahrzeugbewegung durch Längs- und Querschleunigung sowie Gierrate des Fahrzeugaufbaus charakterisiert. Die Vollaktuierung mit redundanten Stelleingriffen soll neben der Einstellung dieser gewünschten Fahrzeugbewegung dazu verwendet werden, weitere Optimierungsziele zu realisieren [2, 3]. Da die numerische Lösung eines solchen Optimierungsproblems für die Nutzung in einem realen Fahrzeug zeitkritisch ist, wird ein analytischer Lösungsansatz verwendet, welcher die Maximierung der Fahrsicherheit zum Ziel hat [4].

Zunächst generiert eine modellgestützte Vorsteuerung aus den Fahrervorgaben Sollverläufe für die horizontalen Bewegungsgrößen. Unter Einbeziehung des Eigenlenkverhaltens eines konventionellen Fahrzeugs gemäß [5] werden auf den Fahrzeugaufbau wirkende Sollkräfte in Längs- und Querrichtung erzeugt. Ein zu diesen Kräften konsistentes Sollgierrmoment, welches zudem ein gewünschtes stationäres Schwimmwinkelverhalten sicherstellt, wird mithilfe eines modellbasierten Regelungsansatzes gewonnen [6].

Die der Vorsteuerung nachgeschaltete Regelungsstruktur hat zum Ziel, die generierte Sollbewegung trotz Modellungenauigkeiten und externen Störungen zu realisieren. Die Regelung soll dabei lediglich auf Messgrößen angewiesen sein, die mit heute in Fahrzeugen üblichen Sensoren erfasst werden können. Als zielführend hat sich hierbei eine Kaskadenstruktur erwiesen, bei welcher vier unterlagerte

Einzelradregelungen ein instabiles Radverhalten (z.B. Durchdrehen) vermeiden, indem sie die durch analytische Inversion eines Reifenmodells nach [7] aus den Sollradkräften gewonnenen Raddrehzahlen und Radlenkwinkel stationär genau einregeln. Durch Unterschiede zwischen dem verwendeten Reifenmodell und dem realen Reifenverhalten stellen sich allerdings nicht zwangsläufig die geforderten Sollkräfte an den Rädern ein. Dies führt letztlich dazu, dass die für die gewünschte horizontale Fahrzeugbewegung erforderlichen Kräfte und Momente auf den Fahrzeugaufbau nicht realisiert werden und die tatsächliche nicht der geforderten Fahrzeugbewegung entspricht. Diesen Abweichungen wird mittels einer überlagerten Horizontaldynamikregelung entgegengewirkt, welche sich aus einem Regler für die Aufbaubeschleunigungen in Längs- und Querrichtung sowie einem Gierratenregler zusammensetzt. Auf diese Weise gelingt es, die geforderte horizontale Fahrzeugbewegung ohne Schätzung der Haftbeiwerte zwischen den Reifen und der Fahrbahn zu realisieren [6].

Literatur:

- [1] Orend, R.: Integrierte Fahrdynamikregelung mit Einzelradaktorik. Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Regelungstechnik, Dissertation, Aachen: Shaker Verlag, 2006
- [2] Reinold, P.; Trächtler, A.: Mehrzieloptimierung zur Stellgrößenermittlung für die Horizontaldynamik eines Elektrofahrzeugs mit Einzelradaktorik. VDI-Bericht Nr. 2135, S. 185-198, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2011.
- [3] Knobel, C.; Pruckner, A.; Bünte, T.: Optimized Force Allocation – A General Approach to Control and to Investigate the Motion of Over-Actuated Vehicles. 4th IFAC Symposium on Mechatronic Systems, 2006.
- [4] Moseberg, J.-E.; Roppenecker, G.: Analytische Radkraftermittlung für die Horizontaldynamik eines Fahrzeugs mit Einzelradaktorik, VDI-Berichte Nr. 2196, S. 431-436, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2013.
- [5] Mitschke, M.; Wallentowitz, H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge – Band C: Fahrverhalten, Berlin: Springer Verlag, 1990.
- [6] Moseberg, J.-E.; Roppenecker, G.: Konzept zur Steuerung und Regelung der horizontalen Bewegung eines Fahrzeugs mit Einzelradaktorik. Methoden und Anwendungen der Regelungstechnik. Erlangen-Münchner Workshops 2011 und 2012. Aachen: Shaker-Verlag, 2013.
- [7] Pacejka, H.B.; Bakker, E.: The Magic Formula Tyre Model, Vehicle System Dynamics 21:S1, S. 1-18, Taylor & Francis, 1990.

Kurzfassungen

Kurzfassungen zum Download unter:

www.iosb.fraunhofer.de/?Boppard

Donnerstag, 20. Februar 2014

14:30 – 16:00 Fehlerdiagnose Sitzungsleitung: Prof. Ding		Umgebungsmodelle zur Navigation Sitzungsleitung: Prof. Dietmayer
14:30 – 15:00	Error Propagation Analysis in Mechatronic Systems <i>Anrej Morozov (Institut für Automatisierungstechnik, TU Dresden, Prof. Janschek, Gr. 9)</i>	Das Fahrerassistenzsystem PRORETA 3: Umgebungspräsentation und Trajektorienplanung <i>Matthias Schreier (Fachgebiet Regelungstheorie und Robotik, TU Darmstadt, Prof. Adamy, Gr. 7)</i>
15:00 – 15:30	Datengeschützter Entwurf von Fehlerdiagnosesystemen für nichtlineare multimode Prozesse <i>Adel Haghani (Institut für Automatisierungstechnik, Universität Rostock, Prof. Jeinsch, Gr. 24)</i>	Visual Semantic Robot Navigation in Indoor Environments <i>Luis Felipe Posada (Lehrstuhl für Regelungssystemtechnik, TU Dortmund, Prof. Bertram, Gr. 8)</i>
15:30 – 16:00	Smartphones-Apps zur Diagnose von automatisierten Systemen <i>Andreas Friedrich (Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, Universität Stuttgart, Prof. Weyrich, Gr. 27)</i>	Modelle der Computergraphik für die Simulation und Restauration von Unterwasser-Bildern <i>Thomas Stephan (Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Prof. Beyerer, Gr. 18)</i>

Error Propagation Analysis in Mechatronic Systems

Andrey Morozov *

* Institut für Automatisierungstechnik
TU Dresden
Barkhausen-Bau, Raum E6
Georg-Schumann-Str. 11
01187 Dresden
+49 (0) 351 46 33 22 02
+ 49 (0) 351 46 33 70 39
andrey.morozov@tu-dresden.de

Klaus Janschek **

** Institut für Automatisierungstechnik
TU Dresden
Barkhausen-Bau, Zi. E 3,
Georg-Schumann-Str. 11,
01187 Dresden
+49-351- 463-34025
+49-351- 463-37039
klaus.janschek@tu-dresden.de

Schlüsselwörter: control flow graph, data flow graph, error propagation, discrete time Markov chain, dependability, reliability, system analysis, UML, activity diagram, probabilistic model.

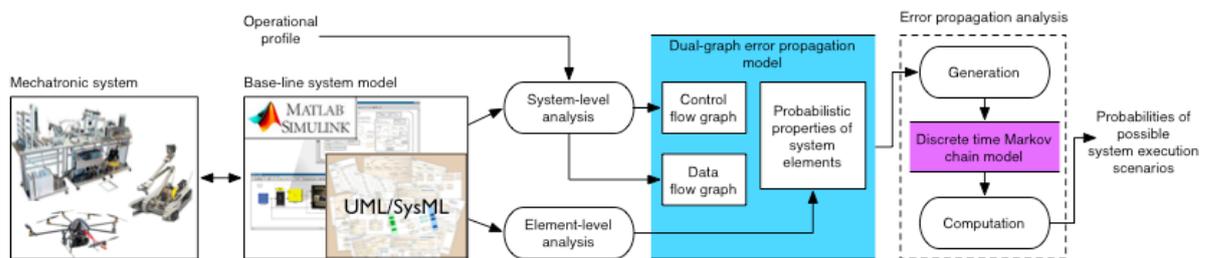


Figure 1: A general structure of the approach to error propagation analysis

Error propagation analysis is an important part of a system development process. Our presentation addresses a probabilistic description of the spreading of data errors through a mechatronic system. An error propagation model for these types of systems must use a high abstraction layer that allows the proper mapping of the mutual interaction of heterogeneous system components such as software, hardware, and physical parts.

A literature overview reveals the most appropriate error propagation model that is based on Markovian representation of control flow. However, despite the strong probabilistic background, this model has a significant disadvantage. It implies that data errors always propagate through the control flow. This assumption limits model application to the systems, in which components can be triggered in arbitrary order with non-sequential data flow.

This leads to the conclusion that control and data flows must be considered separately for an accurate description of an error propagation process. For this reason, a new concept of system analysis is introduced (see Figure 1). The central idea is a synchronous examination of two directed graphs: a control flow graph and a data flow graph. The structures of these graphs can be derived systematically during system development. The knowledge about an operational profile and properties of individual system components allow the definition of additional parameters of the error propagation model.

A discrete time Markov chain is applied for the modeling of faults activation, errors propagation, and errors detection during operation of the system. A state graph of this Markov chain can be generated automatically using the discussed dual-graph representation. A specific approach to computation of this Markov chain makes it possible to obtain the probabilities of all erroneous and error-free system execution scenarios.

This information plays a valuable role in development of dependable systems. For instance, it can help to define an effective testing strategy, to perform accurate reliability estimation, and to speed up error detection and fault localization processes. This presentation contains a comprehensive description of a mathematical framework of the new dual-graph error propagation model, several methods for error propagation analysis, and a case study that demonstrates key features of the application of the presented error propagation model to a typical mechatronic system. A numerical evaluation of the mechatronic system in question proves applicability of the introduced concept.

The introduced approach to error propagation analysis has been already presented in Andrey Morozov's PhD thesis [1] and in several related publications [2, 3, 4]. Currently, we are carrying out two new research projects, based on the achieved results. These projects are devoted to (i) selective software-based hardening of the most critical system components and (ii) error propagation analysis of Matlab SIMULINK © models in the context of model-driven development of control software. We plan to cover the current status of these projects in the forthcoming presentation as well.

Literature:

[1] Andrey Morozov, "Dual-graph model for error propagation analysis of mechatronic systems". PhD. Thesis, Vogt Verlag, Dresden 2012.

[2] Andrey Morozov and Klaus Janschek, "Case study results for probabilistic error propagation analysis of a mechatronic system". In VDI Fachtagung Mechatronik 2013, Aachen, Germany, 2013.

[3] Andrey Morozov and Klaus Janschek, "Dual-graph error propagation model for mechatronic system analysis". In 18th IFAC World Congress, Milano, Italy, 2011.

[4] Andrey Morozov, Klaus Janschek, and Evelina Koycheva, "Dual-graph model for software errors localization", fast abstract session - id 515. In 21st IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering, San Jose, CA, USA, 2010.

Datengestützter Entwurf von Fehlerdiagnosesystemen für nichtlineare multimode Prozesse

Adel Haghani *

* Lehrstuhl Regelungstechnik / Institut für Automatisierungstechnik
Universität Rostock
Richard-Wagner Str. 31, Haus 8 Warnemünde,
D-18051 Rostock
Telefon: +49 (0) 381 / 498 7709
Fax: +49 (0) 381 / 498 7702
E-Mail: adel.haghani@uni-rostock.de

Torsten Jeinsch **

** Lehrstuhl Regelungstechnik / Institut für Automatisierungstechnik
Universität Rostock
Richard-Wagner Str. 31, Haus 8 Warnemünde,
D-18051 Rostock
Telefon: +49 (0) 381 / 498 7709
Fax: +49 (0) 381 / 498 7702
E-Mail: torsten.jeinsch@uni-rostock.de

Schlüsselwörter: Fehlerdiagnose, datengestützter Entwurf, verfahrenstechnische Großanlage

In vielen industriellen Anwendungen kommt der Früherkennung und Diagnose von abnormalem Verhalten verfahrenstechnischer Anlagen eine große Bedeutung zu. Seit Jahrzehnten werden hierzu erfolgreich modellbasierte Methoden der Fehlerdiagnose genutzt. Diese Ansätze erfordern eine exakte Modellierung der Prozesse und Anlagen, basierend auf physikalischen Grundgesetzen. In der jüngeren Vergangenheit hat die kontinuierliche Steigerung der Anlagenkomplexität die Entwicklung von modellbasierten Überwachungsansätzen vor große Herausforderungen gestellt und diese teilweise unrealistisch für moderne Großanlagen werden lassen.

Alternativ zu den modellbasierten Ansätzen sind datenbasierte Methoden entwickelt worden, die, basierend auf verfügbaren Prozessmessgrößen, leistungsstarke Werkzeuge zur Beschaffung nützlicher Informationen für den Aufbau von Überwachungssystemen darstellen [1]. Sogenannte multivariate statistische Prozessüberwachungsansätze sind erfolgreich zur Fehlererkennung und Diagnose in technischen Prozessen angewendet worden.

Aufgrund wechselnder Produktspezifikationen, Arbeitsumgebungen und wirtschaftlicher Randbedingungen werden verfahrenstechnische Anlagen häufig in wechselnden Arbeitspunkten betrieben. Dadurch weist ein bedeutender Teil industrieller Prozesse stark nichtlineares Verhalten auf. Durch die nichtlineare Ausprägung der Prozesse wird die Wirksamkeit klassischer multivariat-statistischer Prozessüberwachungsmethoden eingeschränkt, da diese vor allem auf der Linearitätsannahme basieren.

Das Hauptziel des Beitrages ist die Untersuchung und Entwicklung effizienter datenbasierter Fehlerdiagnosemethoden für komplexe industrielle Anlagen, basierend auf historischen Prozessdaten und unter Berücksichtigung eines nichtlinearen Prozessverhaltens. Dazu wird angenommen, dass sich das nichtlineare System linear in der Umgebung seiner Arbeitspunkte verhält und daher als ein stückweise lineares System in jedem Arbeitspunkt betrachtet werden kann.

Zu diesem Zweck werden verschiedene Methoden zur Fehlererkennung vorgestellt welche das gesamte Prozessverhalten einschließlich seiner Dynamik berücksichtigen [2,3,4]. Darüber hinaus wird eine neuartige Technik zur Fehlerisolation und Bestimmung der Ursache von Störungen im System vorgeschlagen.

Nach erfolgreicher Detektion und Isolation des Fehlers sollte die fehlerhafte Komponente im System repariert oder ersetzt werden. Darüber hinaus sollte die Möglichkeit bestehen, vorübergehend durch ändern der Einstellung spezifischer Komponenten, eine Störung im System zu beheben. Daher ist es notwendig, ein Decision Support System zu entwickeln, um Betriebsingenieure bei der ordnungsgemäßen Wartung, nach Erfassung einer fehlerhaften Komponente im System zu unterstützen. Um dieses Problem anzugehen, wird eine Methodik vorgestellt, die mit Hilfe der Ergebnisse in den vorherigen Schritten sowie einer ökonomischen Bewertung der möglichen Wartungsmaßnahmen, einen optimalen Wartungsvorgang in Bezug auf die größtmögliche Steigerung der Prozessgüte bei kleinstmöglichem Verlust bietet [5].

Die Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Ansätze wird durch ihre Anwendung auf industrielle Anlagen untersucht. Dafür werden Anwendungsstudien an der Trockeneinheit einer Papiermaschine durchgeführt.

Literatur:

- [1] S. Yin, S.X. Ding, A. Haghani, H. Hao, and P. Zhang. A comparison study of basic data-driven fault diagnosis and process monitoring methods on the benchmark Tennessee Eastman process. *Journal of Process Control*, 22(9):1567–1581, October 2012.
- [2] A. Haghani, S.X. Ding, H. Hao, S. Yin, and T. Jeinsch. An approach for multimode dynamic process monitoring using Bayesian inference. In *8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, Mexico City, August 2012.
- [3] A. Haghani, S.X. Ding, J. Esch, and H. Hao. Data-driven quality monitoring and fault detection for multimode nonlinear processes. In *51st IEEE Conference on Decision and Control*, Maui, Hawaii, December 2012
- [4] A. Haghani, S.X. Ding, T. Jeinsch, Quality related fault detection in industrial multimode dynamic processes, accepted for publication in *IEEE transactions on industrial electronics*, 2013.
- [5] A. Haghani, S.X. Ding, T. Jeinsch, H. Hao, H. Luo, MAP criterion for condition-based maintenance in industrial processes, In *2nd International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems*, Nice, France, October 2013.

Smartphone-Apps zur Diagnose von automatisierten Systemen

Dipl.-Ing. Andreas Friedrich

Institut für Automatisierungs- und
Softwaretechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 47, 70550 Stuttgart
Telefon: 0711 – 685-67293
Fax: 0711 – 685-67302
andreas.friedrich@ias.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner

Institut für Automatisierungs- und
Softwaretechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 47, 70550 Stuttgart
Telefon: 0711 – 685-67300
Fax: 0711 – 685-67302
peter.goehner@ias.uni-stuttgart.de

Schlüsselwörter: Fehlerdiagnose, Smartphone, Diagnose-App,
Anwenderfreundliche Diagnose und Fehlerbehebung

Smartphones und Tablets werden immer beliebter, der Preis dieser Geräte sinkt kontinuierlich. Daher werden sie zunehmend für die Automatisierungstechnik interessant. Die Hardware aktueller Smartphones oder Tablets erfüllt viele technische Anforderungen heutiger Bedien- oder Diagnosegeräte. Daher genügt es, sich bei der Entwicklung neuer Bedien- bzw. Diagnosegeräte auf die Software zu konzentrieren und eine vorhandene Hardware-Plattform zu nutzen.

Zudem steht die Fehlerdiagnose von automatisierten Systemen vor großen Herausforderungen: Die zu untersuchenden Systeme werden immer komplexer, die für die Wartung benötigten Fachkräfte sind immer schwerer zu finden. Daher sind längere Wartezeiten und hohe Kosten für eine Reparatur keine Seltenheit. Defekte Geräte wie Waschmaschinen oder Kaffeefullautomaten werden daher oft entsorgt, obwohl der Fehler einfach zu beheben wäre.

Am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik der Universität Stuttgart wurde ein Diagnoseverfahren entwickelt (s. Abb. 1), das auf einem handelsüblichen Smartphone aufbaut und speziell von Nicht-Fachkräften bedient werden kann [1]. Das gesamte Verfahren ist so konzipiert, dass dem Anwender ein geringstmöglicher Aufwand für die Durchführung der Diagnose entsteht und dieser kein explizites Fachwissen benötigt.

Ein einfaches Identifikationsverfahren sorgt dafür, dass der Anwender mit seinem Mobiltelefon nur kurz eine am Haushaltsgerät markierte Stelle berühren muss, um eine entsprechende Diagnosesoftware auf das Mobiltelefon herunterzuladen bzw. diese zu starten. Dabei werden automatisiert Informationen über das zu diagnostizierende Gerät, wie Hersteller, Modellnummer und Seriennummer sowie eventuelle vorliegende Fehlercodes übertragen. Aus diesen Informationen stellt die Diagnose-Anwendung entsprechende Testfälle zusammen, die anschließend durchgeführt werden können.

Im Idealfall kann die Diagnosesoftware auf dem Mobiltelefon das vorliegende Problem des automatisierten Systems durch geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise einen Spülvorgang, selbst lösen. Gelingt dies nicht, werden je nach Fehlerart entsprechende detaillierte Hinweise zur Problemlösung an den Anwender ausgegeben. Ist dieser mit der Problemstellung überfordert oder wird ein entsprechendes Ersatzteil benötigt, kann mit einem Klick ein Techniker aus der Region beauftragt werden. Dabei werden wichtige, bereits zum Fehler vorliegende,

Informationen mit übertragen, damit sich der Techniker ideal auf den Einsatz vorbereiten kann und entsprechendes Werkzeug sowie Ersatzteile mitbringen kann. Letztlich erspart das Verfahren zusätzliche Besuche des Technikers, die auf eine ungenaue Fehlerbeschreibung oder eine unzureichende Kenntnis des Anrufers zurückzuführen sind. Langwierige Telefonanrufe bei diversen Kundenservice-Hotlines werden durch dieses Konzept ebenfalls minimiert.

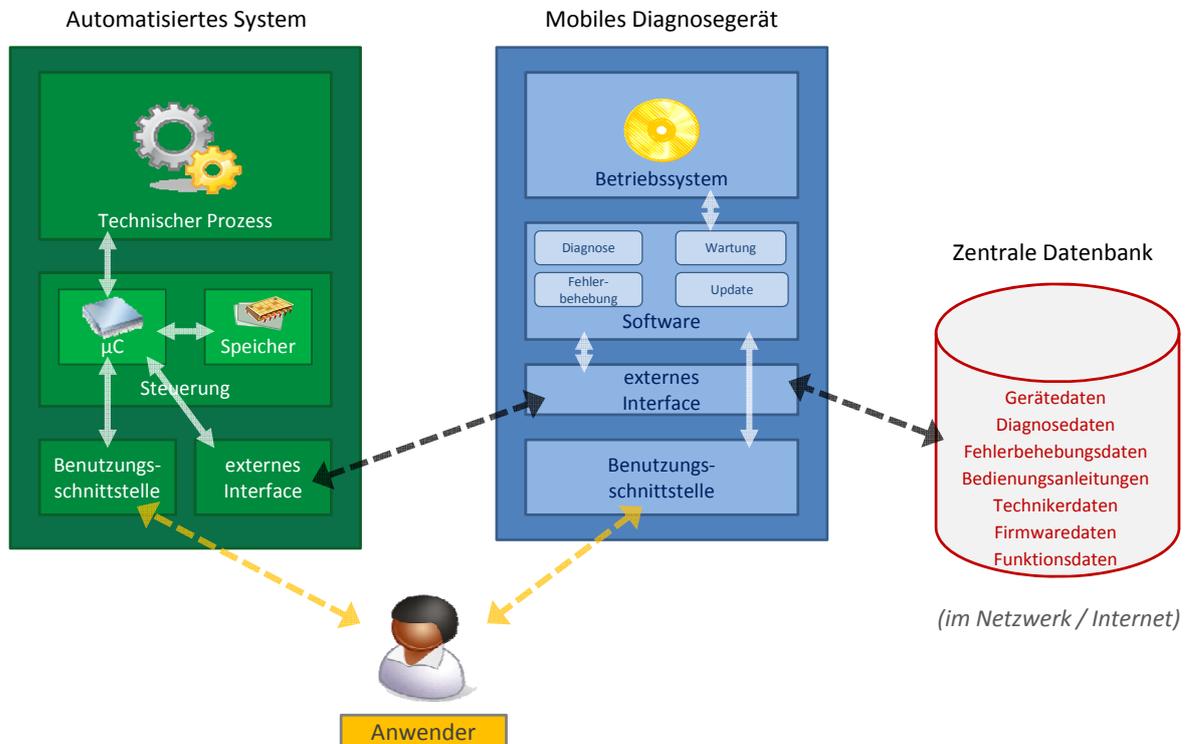


Abbildung 1: Systemaufbau [1]

Um das Smartphone-Diagnoseverfahren durchführen zu können, muss das entsprechende automatisierte System mit einer speziellen Diagnoseschnittstelle ausgestattet sein. Doch diese ist im Vergleich zu den durchschnittlichen Reparaturkosten verhältnismäßig günstig. Die Hardware des Diagnosegeräts in Form eines Smartphones ist in immer mehr Haushalten bereits vorhanden und die Software sowie entsprechende modellspezifischen Diagnosedaten können tagesaktuell direkt über die Internetanbindung des Mobiltelefons bedarfsmäßig nachgeladen werden. Ein weiterer Vorteil des Diagnoseverfahrens ist, dass es nicht auf Produkte wie Haushaltsgeräte beschränkt ist, sondern genauso auch im industriellen Umfeld für große Anlagen eingesetzt werden kann. Im Vortrag wird das Diagnoseverfahren ausführlich beschrieben und es werden geeignete Technologien vorgestellt. Es wird sowohl auf die appbasierte Diagnosesoftware als auch auf die entsprechende Hardware-Gegenseite und deren Anforderungen eingegangen. Zudem wird ein Konzept vorgestellt, das die Erstellung mobiler Diagnoseanwendungen durch ein Framework stark vereinfacht.

Literatur:

[1] Friedrich, A., Göhner, P.: Das Smartphone als universelles Diagnosegerät – Ein kundenzentriertes Konzept zur Fehlerdiagnose. atp edition – Automatisierungstechnische Praxis 55 (3), S. 44-50, 2013

Das Fahrerassistenzsystem PRORETA 3: Umgebungsrepräsentation und Trajektorienplanung

Matthias Schreier, Jürgen Adamy*

* Fachgebiet Regelungstheorie und Robotik
Technische Universität Darmstadt
Landgraf-Georg-Straße 4, 64283 Darmstadt
Telefon: 06151/16-4842
Fax: 06151/16-2507
schreier@rtr.tu-darmstadt.de

Eric Bauer, Ulrich Konigorski **

** Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik
Technische Universität Darmstadt
Landgraf-Georg-Straße 4, 64283 Darmstadt
Telefon: 06151/16-2214
Fax: 06151/16-6114
ebauer@rtm.tu-darmstadt.de

Schlüsselwörter: Fahrerassistenz, Freiraumkarte, Objektverfolgung, Kollisionsvermeidung, Trajektorienplanung

Der Beitrag liefert einen Überblick über die Entwicklung des Fahrerassistenzsystems PRORETA 3 mit Schwerpunkt Umgebungsrepräsentation und Trajektorienplanung [1]. Das System beinhaltet einen integralen Ansatz zur Kollisionsvermeidung und Fahrzeugautomatisierung auf Basis einer dichten Umfeldbeschreibung in komplexen Fahrsituationen. Die Umfeldbeschreibung ergibt sich aus einer Kombination von parametrischen Freiraumkarten [2] zur Darstellung erreichbarer, befahrbarer, statischer Freiräume sowie einer objektbasierten Verfolgung dynamischer Objekte. Die vorgestellte Repräsentation wird aus den in der Robotik üblichen zellbasierten Belegungskarten [3] abgeleitet und in Echtzeit aus Stereokamera- sowie Radardaten erzeugt.

Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Freiraumkarte sowie ein Beispiel basierend auf realen Messdaten in Überlagerung einer Belegungskarte.

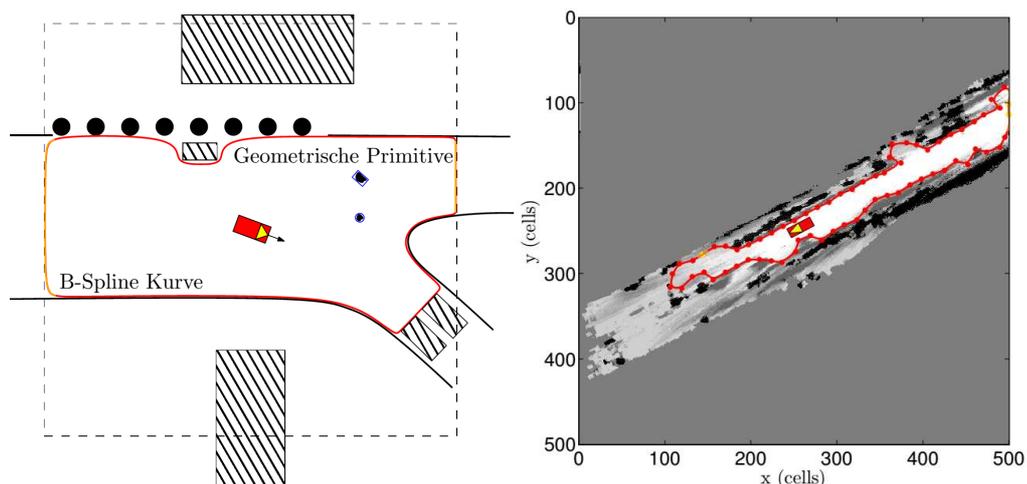


Abbildung 1: Parametrische Freiraumkarten in schematischer Darstellung (links) sowie in der Realität (rechts). Erreichbare, befahrbare Fahrumgebungen werden kompakt durch eine B-Splinekurve sowie geometrische Primitive repräsentiert und durch Methoden der Bildverarbeitung sowie einer raumzeitlichen Filterung aus einer überlagert dargestellten zellbasierten Belegungskarte (weiß: hohe Freiwahrscheinlichkeit, schwarz: hohe Belegtwahrscheinlichkeit) extrahiert.

Zur Extraktion dynamischer Objekte aus den Belegungskarten wird ein Interacting-Multiple-Model-Unscented-Kalman-Probabilistic-Data-Association-Filter genutzt, das neben der Zustandsschätzung dynamischer Objekthypothesen zusätzlich zur Klassifikation von Belegungszellen Verwendung findet. Hierdurch können Fehler, die sich beim Mapping dynamischer Fahrumgebungen ergeben, effektiv unterdrückt werden, wie an Abbildung 2 exemplarisch gezeigt.

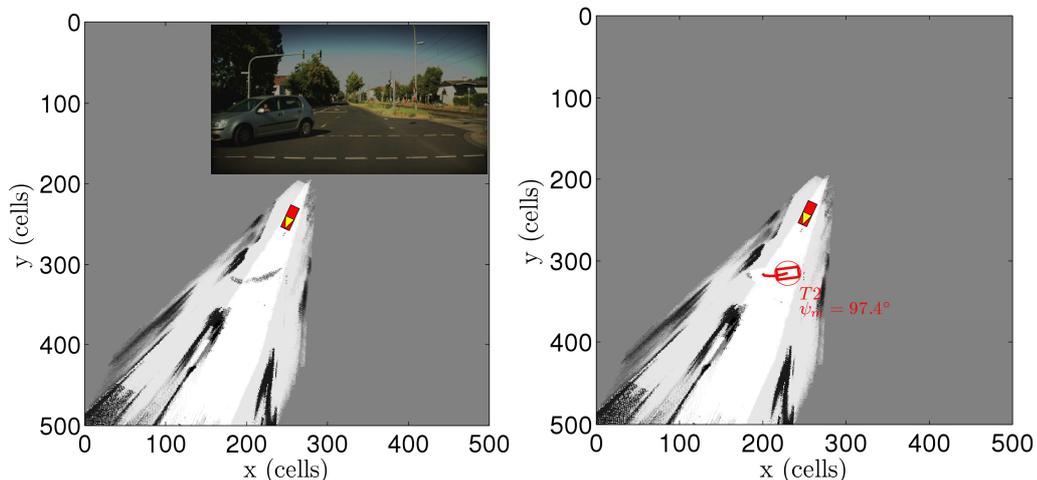


Abbildung 2: Optimierung einer Belegungskarte durch Klassifikation dyn. Zellen.

Aus den Elementen der Umgebungsrepräsentation wird daraufhin ein Gesamtgefahrenpotentialfeld generiert. Dieses basiert nicht, wie üblich, ausschließlich auf Fahrstreifenmarkierungen und Objekten [4], sondern zusätzlich auf den geschätzten Freiraumkarten. Das Potentialfeld stellt im Sinne eines Kostenfunktionalen den Ausgangspunkt einer modellprädiktiven Trajektorienplanung [5] dar. Durch Lösen des resultierenden nichtlinearen prädiktiven Regelungsproblems mit Hilfe einer Methode aus [6] wird das mit PRORETA 3 ausgestattete Fahrzeug möglichst sicher aus der Gefahrenzone herausgeführt.

Literatur:

- [1] Bauer, E.; Lotz, F.; Pfromm, M.; Schreier, M. *et al.*, „PRORETA 3: An Integrated Approach to Collision Avoidance and Vehicle Automation,“ in *at – Automatisierungstechnik* 60 (12), Oldenbourg Wissenschaftsverlag, S. 755-765, 12/2012.
- [2] Schreier, M.; Willert, V.; Adamy, J., „From Grid Maps to Parametric Free Space Maps – A Highly Compact, Generic Environment Representation for ADAS,“ in *Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Gold Coast, Australien, 06/2013.
- [3] Elfes, A., „Sonar-based Real-World Mapping and Navigation,“ in *Journal of Robotics and Automation* 3 (3), S. 249-265, 06/1987.
- [4] Nishira, H.; Takagi, Y.; Deguchi, Y., „Application of Model Predictive Control to Cooperative Collision Avoidance Control System,“ in *Proc. of the Int. Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident*, Tokyo, Japan, 09/2011.
- [5] Bauer, E.; Konigorski, U., „Ein modellprädiktiver Querplanungsansatz zur Kollisionsvermeidung,“ in *6. VDI Fachtagung Autoreg*, Baden-Baden, 06/2013.
- [6] Ohtsuka, T., A continuation/GMRES method for fast computation of nonlinear receding horizon control,“ in *Automatica* 40 (4), S. 563-574, 04/2004.

Visual Semantic Robot Navigation in Indoor Environments

Luis Felipe Posada, Frank Hoffmann, Torsten Bertram

Lehrstuhl für Regelungssystemtechnik
Technische Universität Dortmund
Otto-Hahn-Str. 4 44227 Dortmund
Telefon: (+49)231 755-2496
Fax: (+49)231 755-2752
E-Mail: felipe.posada@tu-dortmund.de

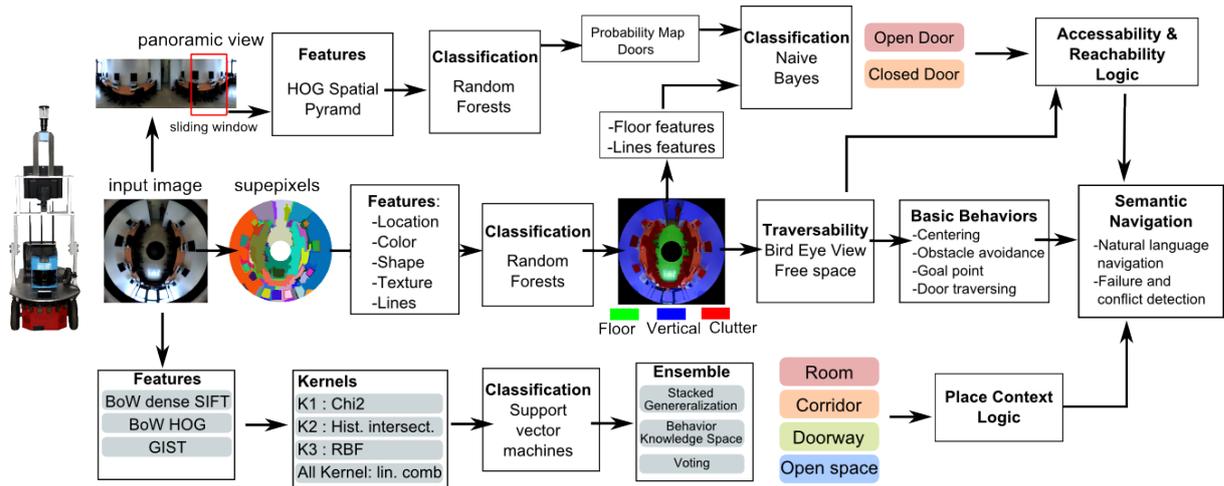
Keywords: Visual navigation, semantic segmentation, visual behaviors, scene recognition

Service robotics represents the fastest growing market in the robotics sector with new exciting applications every year in areas as diverse as: inspection, surveillance, assistance, rescue and entertainment. Nevertheless, as mobile robots move from industrial setups to real world scenarios, they require a more profound semantic understanding to comprehend the complex interactions with humans and the world. The ability to reason about objects and their spatial and functional relationship, entitles the robot to perform complex tasks autonomously and make human-robot communication more natural.

This work proposes a robot navigation framework based on semantic information extracted from visual data. The robot is able of knowing its place, and reaching new targets given instructions in natural language (e.g. get out of the room, follow the corridor until last door, and then enter the room at the right). The system operates without prior map knowledge or a metric representation. This form of navigation is inspired from humans, where starting points, transitions and targets are described by semantic information. One of the advantages of this representation is that the system is able to recover or be aware of failures given conflicts with the current place context. E.g. the system will throw an error, if a corridor following behavior is activated inside a room.

The experimental platform consists of a Pioneer 3DX mobile robot equipped with an omnidirectional camera with an hyperbolic mirror. The overall system architecture is illustrated in Figure 1. The system can be divided into roughly four parts. The *place recognition* module informs the robot its current place location relying on a global image representation (GIST) and two local densely extracted shape and appearance representations (HOG, dense SIFT). A support vector machine is trained to identify four location categories: room, corridor, doorway and hallway.

The *semantic segmentation and object recognition* module is in charge of identifying objects such as floor, doors, walls, vertical structures, and obstacles in the local environment. We define obstacles (clutter) as non-planar objects with multiple surfaces. E.g. furniture, plants, people. Similarly, the category vertical plane is composed of objects such as walls, boards and placards. Our method does not seek to identify each and every single object in the scene, but only navigation relevant categories. The semantic segmentation employs randomized decision trees to label



super-pixels using: texture, location, color, shape, and lines. More technical details of the segmentation and the place recognition are found in [1].

Figure 1: System Architecture

The floor detection is an important component of our system, since it allows the traversability assessment necessary for all behaviors to identify free paths to the goals. For this purpose, the freespace region is further mapped into a birdseye view, in which lines are no longer conics and points in the floor follow an homographic transformation from the real floor.

Doors play an important role in indoor navigation; however, they cannot be extracted from the semantic segmentation. From Fig. 1 it is apparent that bounding box is a better representation, given the considerable overlap with other classes (floor and walls). The *door detection module* creates a probability map using a sliding window approach on a constructed panorama. Hypothetical doors are further discriminated as: opened and closed doors by merging other contextual and semantic features with a naïve Bayes classifier.

The last component of the system constitute the *visual behaviors*. Starting points and goals are given as semantic places {*room, corridor, doorway, hallway*}. The transitions or actions represent a verb that either: a) imply changing the current place {*enter, get out*} of {*room, hall, corridor*} and {*traverse*} the {*door*}; or b) are effected within the place: {*follow*} the {*corridor, room, hall*}.

We assume the {*enter, get out*} out places is accomplished through traversing doors. The door passing behavior first positions the robot by homing it in front of the door with EKF localization on detected door poles and cross the door with 2D visual servoing. The {*follow*} behaviors drive the robot within a place following its main orientation. The principal Manhattan directions of a place are extracted by merging the layout information of the vertical structures with second order moments parameters of the free space region.

Literatur:

[1] Posada, L.F.; Narayanan, K.K.; Hoffmann, F.; Bertram T.: Semantic Classification of Scenes and Places with Omnidirectional Vision. 6th European Conference on Mobile Robots, Barcelona, Sept. 2013

Modelle der Computergraphik für die Simulation und Restauration von Unterwasser-Bildern

Thomas Stephan

Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Adenauerring 4, 76131 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 6091-436
thomas.stephan@kit.edu

Jürgen Beyerer

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik
und Bildauswertung IOSB
Fraunhoferstraße 1, 76131 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 6091-210
juergen.beyerer@iosb.fraunhofer.de

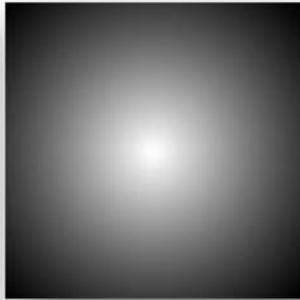
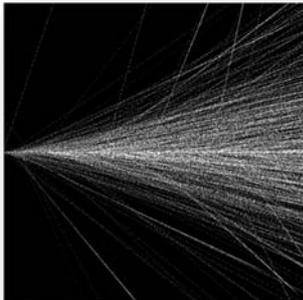
Schlüsselwörter: Bildrestauration, Modellbildung, Parameterschätzung

In natürlichen Gewässern sind Bildaufnahmen unter Wasser meist von schlechten Sichtverhältnissen geprägt. Auftretende Degradationen des Bildes, verursacht durch wellenlängenabhängige Streuung und Absorption, bestehen dabei aus Farbverschiebungen, Kontrastverlusten und Blurreffekten [1]. Um möglichst optimale Bildaufnahmen zu erhalten, ist eine an die Eigenschaften der Szene angepasste Bildgewinnung und -verarbeitung notwendig.



Beispiel einer Bildrestauration eines Unterwasser-Bildes.

Zur Steigerung der Bildqualität müssen die Bildaufnahmeparameter an die Eigenschaften der Unterwasser-Szene angepasst werden. Dazu dienen Bildsyntheseverfahren zur visuellen Evaluation der Bildaufnahmeparameter. Bildrestaurationen ermöglichen eine weitere Qualitätssteigerung der gewonnenen Bilder, durch Farbkorrekturen und Dekonvolutionsansätze. Sowohl die Simulation, als auch die Restauration erfordern die Modellierung des Bildentstehungsprozesses. Dabei spielt der Strahlentransport [2,3] (engl. Radiative transfer equation) durch das Medium eine entscheidende Rolle.



Monte-Carlo-Simulation eines Laserstrahls (links) und einer Punktspreizfunktion (rechts)

Um Bildsynthese und Bildrestauration zu ermöglichen, werden in diesem Vortrag Modelle vorgestellt, mit denen der Strahlentransport effektiv simuliert werden kann. Dadurch wird es möglich, die Bilddegradationen zu charakterisieren, zu simulieren und zu restaurieren.

Literatur:

- [1] Stephan, T.; Frühberger, P.; Werling, S.; Heizmann, M.: Model based image restoration for underwater images. In: SPIE Optical Metrology 2013 (pp. 87911F-87911F). International Society for Optics and Photonics.
- [2] Chandrasekhar, S.: Radiative transfer, Dover, New York (1960).
- [3] Ishimaru, A.: Wave propagation and scattering in random media, Academic Pr., New York (1978)

Kurzfassungen

Kurzfassungen zum Download unter:

www.iosb.fraunhofer.de/?Boppard

Freitag, 21. Februar 2014

08:30 – 10:00	Nichtlineare Identifikation und Modelle Sitzungsleitung: Prof. Kroll	Energieeffiziente Automatisierung Sitzungsleitung: Prof. Bertram
08:30 – 09:00	Dynamische Optimierung zur Identifikation von Regulationsstrategien des Stoffwechsels <i>Martin Bartl (Fachgebiet Simulation und Optimale Prozesse, TU Ilmenau, Prof. Li, Gr. 15)</i>	Laufzeitsysteme für die nächste Generation der industriellen Automation - Paradigmen, Referenzarchitektur, Eigenschaften <i>Sten Grüner (Lehrstuhl für Prozessleittechnik, RWTH-Aachen, Prof. Epple, Gr. 1)</i>
09:00 – 09:30	Zur Identifikation der Rotorzeitkonstante bei Asynchronmaschinen <i>Daniel Muschik (Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, TU Graz, Prof. Dourdoumas, Gr. 7)</i>	Lösung von Fahrplanstrategien für dezentrale Energieanlagen eines virtuellen Kraftwerks <i>Christian Müller (Institut für Automatisierungstechnik, TU Bergakademie Freiberg, Prof. Rehkopf, Gr. 10)</i>
09:30 – 10:00	Sicherheit trotz Unsicherheiten: Robuste Analyse, Fehlerdiagnose, Schätzung und Regelung nichtlinearer Systeme <i>Stefan Streif (Institut für Automatisierungstechnik, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Prof. Findeisen, Gr. 20)</i>	Verteilte Systeme zur Erstellung von Einspeise- und Lastprognosen <i>Lukas Exel (Lehrstuhl für Automatisierungstechnik, Universität des Saarlandes, Prof. Frey, Gr. 25)</i>
10:00 – 10:30	Adaptive Entwicklungspunktwahl und globale Fehlerschranken bei der Modellreduktion mittels Krylow-Unterraum-Verfahren <i>Heiko Panzer (Lehrstuhl für Regelungstechnik, TU München, Prof. Lohmann, Gr. 22)</i>	Softsensorbasierte Durchflussschätzung zur kostengünstigen Regelung von Kreiselpumpen <i>Sebastian Leonow (Lehrstuhl für Regelungstechnik und Systemtheorie, Ruhr-Universität Bochum, Prof. Mönnigmann, Gr. 3)</i>

Dynamische Optimierung zur Identifikation von Regulationsstrategien des Stoffwechsels

Martin Bartl *

Pu Li **

* Fachgebiet Simulation und Optimale Prozesse
Technische Universität Ilmenau
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
Telefon: +49 3677 69-2869
Fax: +49 3677 69-1434
martin.bartl@tu-ilmenau.de

** Fachgebiet Simulation und Optimale Prozesse
Technische Universität Ilmenau
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
Telefon: +49 3677 69-1423
Fax: +49 3677 69-1434
pu.li@tu-ilmenau.de

Schlüsselwörter: Optimale Steuerungen, direkte Methoden, metabolische und regulatorische Netzwerke, evolutionäre Systembiologie

Optimale Steuerungsstrategien von Stoffwechselnetzwerken wurden erstmals in [1] untersucht. Dieser Ansatz basiert auf der Annahme, dass die Regulation des Stoffwechsels an Kriterien, wie minimale Übergangszeit oder maximale Überlebenszeit durch evolutionären Druck angepasst wurde. In späteren Untersuchungen wurde experimentell ein ähnliches Verhalten für *Escherichia coli* [2] und in verschiedenen Teilsystemen des Metabolismus von *Saccharomyces cerevisiae* [3] beobachtet.

In diesem Beitrag werden optimale Regulationsstrategien von Stoffwechselnetzwerken unter Anwendung der quasi-sequentiellen Methode [4] identifiziert bzw. analysiert. Hierfür wurden Erweiterungen der quasi-sequentiellen Methode in Form einer Kontrolle der Approximationsgenauigkeit der Zustandsverläufe und eine adaptive Diskretisierung während der Lösung des Optimierungsproblems umgesetzt [5]. Die Realisierung der Approximationskontrolle wurde in der Simulationsschicht der quasi-sequentiellen Methode implementiert. Dies führt dazu, dass gradientenbasierte Lösungsalgorithmen in ihrer iterativen Lösungsstrategie ungehindert fortfahren können und somit keine Neustarts notwendig sind. Weiterhin verbessert die gesicherte Approximationsgenauigkeit die Konvergenzeigenschaften und erhöht die Robustheit gegenüber den Startwertschätzungen der zu optimierenden Steuerungsprofile.

Die Identifikation von Regulationsstrategien des Stoffwechsels wird für zwei verschiedene Regulationsszenarien durchgeführt. In Szenario A wird durch die Formulierung von Optimalsteuerungsproblemen untersucht, welche Aufgabe die transkriptionelle Regulation bei der Kontrolle von Stoffwechselnetzwerken übernimmt [6]. Es ergibt sich für steigende Kosten der Enzyme ein Umschalten des optimalen regulatorischen Programms von einer dünn verteilten, transkriptionellen Regulation zu einer umfassenden, transkriptionellen Regulation (siehe Abbildung 1 oben). Die Vorhersagen dieser regulatorischen Strategien wurden durch eine teilsystembezogene Datenanalyse für *Escherichia coli* überprüft und können durch einen Kompromiss zwischen zu minimierenden Kosten für Proteine und einer minimalen Antwortzeit auf veränderte Umweltbedingungen erklärt werden. In Szenario B werden optimale Aktivierungsstrategien von Stoffwechselnetzwerken für verschiedene Proteinsynthesekapazitäten untersucht [7]. Dabei ergeben sich, in Abhängigkeit der Proteinmassen und der Proteinsynthesekapazität verschiedene

Ausprägungen von optimalen Aktivierungsstrategien (siehe Abbildung 1 unten), wobei sich für große Unterschiede in den benötigten Proteinmassen die Komplexität der Aktivierungsstrategien erhöht. Die Signaturen dieser Aktivierungsstrategien und auch der Einfluss der Beschränkungen wurden in den Regulationen von Stoffwechselnetzwerken für hunderte Prokaryoten nachgewiesen. Werden die erzielten Ergebnisse in einem gemeinsamen Kontext betrachtet, ergibt sich für den Übergang der dünn verteilten, transkriptionellen Regulation zu einer optimalen Aktivierung von Stoffwechselnetzwerken mit steigenden bzw. fallenden Proteinmassen.

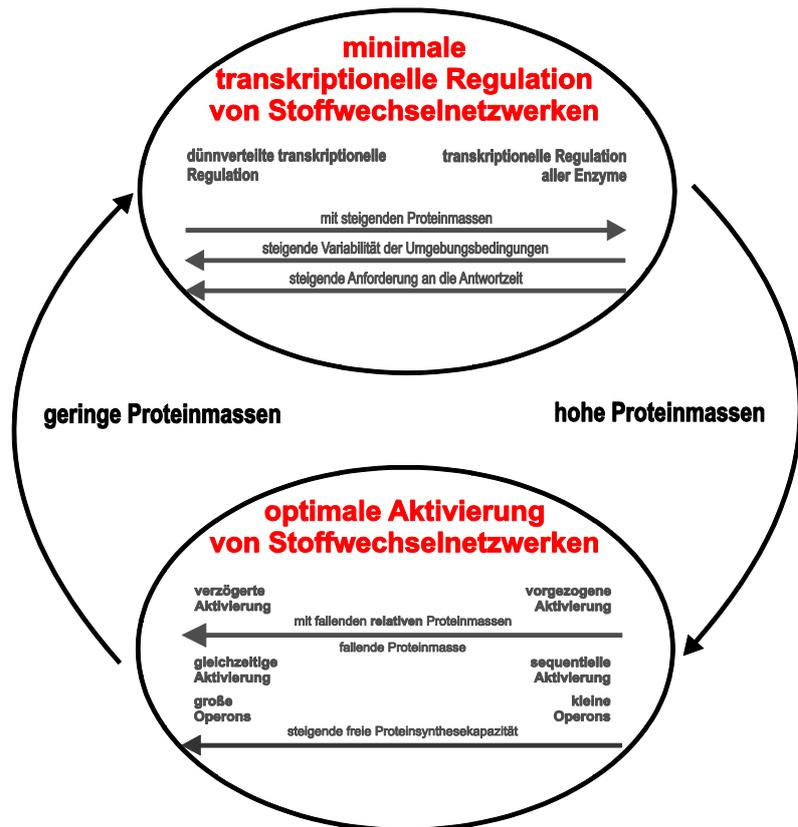


Abbildung 1: Optimale Strategien

Literatur:

- [1] E. Klipp, R. Heinrich, and H. G. Holzhütter, "Prediction of temporal gene expression - Metabolic optimization by re-distribution of enzyme activities," *Eur J Biochem*, vol. 269, pp. 5406-5413, 2002.
- [2] A. Zaslaver, A. E. Mayo, R. Rosenberg, P. Bashkin, H. Sberro, M. Tsalyuk, M. G. Surette, and U. Alon, "Just-in-time transcription program in metabolic pathways," *Nat Genet*, vol. 36, pp. 486-491, 2004.
- [3] G. Chechik, E. Oh, O. Rando, J. Weissman, A. Regev, and D. Koller, "Activity motifs reveal principles of timing in transcriptional control of the yeast metabolic network," *Nat Biotechnol*, vol. 26, pp. 1251-9, 2008.
- [4] W. Hong, S. Wang, P. Li, G. Wozny, and L. T. Biegler, "A quasi-sequential approach to large-scale dynamic optimization problems," *AIChE J*, vol. 52, pp. 255-268, 2006.
- [5] M. Bartl, P. Li, and L. T. Biegler, "Improvement of State Profile Accuracy in Nonlinear Dynamic Optimization with the Quasi-Sequential Approach," *AIChE J*, vol. 57, pp. 2185-2197, 2011.
- [6] F. Wessely, M. Bartl, R. Guthke, P. Li, S. Schuster, and C. Kaleta, "Optimal regulatory strategies for metabolic pathways in Escherichia coli depending on protein costs," *Mol Sys Biol*, vol. 7:515, 2011.
- [7] M. Bartl, M. Kötzling, S. Schuster, P. Li, and C. Kaleta, "Dynamic optimization identifies optimal programs for pathway regulation in prokaryotes," *Nat Commun*, vol. 4, 2013.

Zur Identifikation der Rotorzeitkonstante bei Asynchronmaschinen

Dipl.-Ing. Daniel Muschick

Regelungs- und Automatisierungstechnik
Technische Universität Graz
Kopernikusgasse 24, 8010 Graz, Österreich
+43 316 873 7015
+43 316 873 7028
daniel.muschick@tugraz.at

Schlüsselwörter: Rotorzeitkonstante, Online Parameteridentifikation, Methode der kleinsten Fehlerquadrate

Zur hochdynamischen Regelung von Asynchronmaschinen wird häufig die sog. feldorientierte Regelung eingesetzt. Dabei wird mit Hilfe eines mathematischen Modells der Maschine der Rotorfluss geschätzt, wobei Statorspannungen, Statorströme sowie der Rotorwinkel als Messgrößen vorliegen. Winkel und Betrag des Rotorflussraumzeigers werden zur Bestimmung des Luftspaltemoments sowie zur Entkopplung von moment- und flussbildenden Stromkomponenten herangezogen. Deren genaue Bestimmung ist demnach für eine effektive Regelung erforderlich, wird aber durch Unsicherheiten in den Modellparametern erschwert. Abweichungen bei der Rotorzeitkonstante wirken sich hier besonders nachteilig aus [1]. Diese kann sich im Betrieb (durch Erwärmung, Sättigungseffekte etc.) gravierend verändern; eine einmalige Bestimmung vor der Inbetriebnahme ist also nicht ausreichend.

Es existieren mannigfaltige Vorschläge zur Identifikation der Rotorzeitkonstante während des Betriebes (für eine Übersicht siehe z.B. [2]). Hierbei wird meist von einem linearen, zeitvarianten Grundwellenmodell mit linearer Induktivität ausgegangen.

Beschränkt man sich auf die Bestimmung der Rotorzeitkonstante und nimmt alle anderen Maschinenparameter als bekannt und konstant an, wirken sich Verletzungen dieser Annahmen direkt auf den Schätzwert der Rotorzeitkonstante aus. Je nach Betriebspunkt kann die Identifikationsmethode bei zu großen Abweichungen der übrigen Parameterwerte von den wahren Werten sogar instabil werden [3]. Also sollten die anderen Parameter ebenfalls geschätzt werden.

Eine Möglichkeit dazu besteht in der Anwendung der klassischen Methode der kleinsten Fehlerquadrate (MKQ). Dabei wird das Eingangs-/Ausgangsverhalten der Maschine bei annähernd konstanter Rotordrehzahl herangezogen, um die Parameter der zugehörigen Übertragungsfunktion zu schätzen und aus diesen auf die Maschinenparameter zu schließen (siehe z.B. [4]). In der Praxis kommt es zu zwei wesentlichen Problemen.

Einerseits sind die zu schätzenden Parameter nicht konstant, so dass eine rekursive Variante der MKQ eingesetzt werden muss, welche alte Information geringer gewichtet. Dabei kommt es zu numerischen Problemen, da die Bedingung der fortdauernden Anregung im geregelten Betrieb der Maschine oft nicht erfüllt ist. Dies führt zu einer exponentiell wachsenden Kovarianzmatrix des Schätzfehlers und damit verbunden zu einer starken Empfindlichkeit gegenüber Messrauschen. Es wird vorgeschlagen, die in [5] vorgestellte Methode anzuwenden. Dabei wird Information nur im sog. angeregten Unterraum „vergessen“ und ansonsten bestehen gelassen.

Andererseits ist die Anzahl der geschätzten Parameter größer als die der Maschinenparameter. Zwischen ihnen existiert eine nichtlineare Beziehung, welche in die MKQ in Form einer quadratischen Nebenbedingung integriert werden kann [6]. Dabei wird der geschätzte Parametervektor in einen Unterraum projiziert, in welchem die Nebenbedingung ident erfüllt ist. Geschieht dies in jedem Iterationsschritt, verliert die mitgeschätzte Kovarianzmatrix allerdings an Bedeutung. Um dies zu vermeiden, wird hier vorgeschlagen, Mittelwert und Kovarianzmatrix des projizierten Schätzwertes mit Hilfe einer „*unscented transformation*“ [7] zu ermitteln.

Die vorgeschlagenen Verbesserungen der MKQ wurden in Simulationen und an einem Motorenprüfstand der Firma Kristl, Seibt & Co. untersucht und deren Effektivität gezeigt.

Literatur:

- [1] Muschick, Daniel, Robert Bauer, Nicolaos Dourdoumas und Wilfried Rossegger. *Identifikation der Rotorzeitkonstante bei freilaufender Asynchronmaschine unter Verwendung der Momentenverstimmung*. International Journal Automation Austria, Heft 1, Jahrgang 21, 2013.
- [2] Toliyat, Hamid A., Emil Levi und Mona Raina. *A Review of RFO Induction Motor Parameter Estimation Techniques*. IEEE Trans. on Energy Conversion, Band 18, Nr. 2, Juni 2003.
- [3] Dittrich, A. *Parameter Sensitivity of Procedures for on-line adaptation of the rotor time constant*. IEE Proc.-Electr. Power Appl., Band 141, Nr. 6, November 1994.
- [4] Stephan, Jennifer, Marc Bodson und John Chiasson. *Real-Time Estimation of the Parameters and Fluxes of Induction Motors*. IEEE Trans. on Industry Applications. Band 30, Nr. 3, Juni 1994.
- [5] Cao, Liyu und Howard M. Schwartz. *A Directional Forgetting Algorithm Based on the Decomposition of the Information Matrix*. Proc. of the 7th Mediterranean Conf. on Control and Automation. Juni 1999.
- [6] Cirrincione, Maurizio, Marcello Pucci, Giansalvo Cirrincione und Gérard-André Capolino. *Constrained least-squares method for the estimation of the electrical parameters of an induction motor*. COMPEL: The intern. Journal for Comp. and Math. in Electrical and Electronic Engineering. Band 22, Nr. 4, 2003.
- [7] Julier, Simon und Jeffrey K. Uhlmann. *A General Method for Approximating Nonlinear Transformations of Probability Distributions*. 1996.

Sicherheit trotz Unsicherheiten: Robuste Analyse, Fehlerdiagnose, Schätzung und Regelung nichtlinearer Systeme

Stefan Streif

Lehrstuhl für Systemtheorie und
Regelungstechnik,
Institut für Automatisierungstechnik
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2
0391 / 67 11 321
0391 / 67 11 191
Stefan.Streif@ovgu.de

Rolf Findeisen

Lehrstuhl für Systemtheorie und
Regelungstechnik,
Institut für Automatisierungstechnik
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2
0391 / 67 18 577
0391 / 67 11 191
Rolf.Findeisen@ovgu.de

Schlüsselwörter: Unsicherheiten; nichtlineare Systeme; konvexe Relaxierung; mengenbasierte Methoden; Fehlerdiagnose.

In dieser Arbeit stellen wir neue Methoden für die Analyse, Schätzung, Regelung und Fehlerdiagnose unsicherer, nichtlinearer Systeme vor. Die vorgestellten Methoden erlauben es, explizit auftretende Modellunsicherheiten, d.h. unsichere Parameter, zeitabhängige Störungen, sowie Messunsicherheiten bei der Analyse und Synthese zu berücksichtigen. Ziel ist es – trotz der Unsicherheiten – beispielsweise beim Entwurf robuster Regler für nichtlineare Systeme anforderungsspezifische Beschränkungen garantiert einzuhalten, robuste Schätzergebnisse zu liefern oder in der Fehlerdiagnose unsichere Fehlermodelle basierend auf unsicheren Messdaten eindeutig zu invalidieren.

Der vorgestellte Ansatz basiert auf einer Umformulierung der Modellgleichungen, der Unsicherheitsbeschreibungen sowie der messtechnisch bestimmten oder anforderungsspezifischen Beschränkungen in Form eines Lösbarkeitsproblem. Um Garantien bezüglich der gewünschten Anwendungen zu geben, ist es notwendig, die Menge aller zulässigen Lösungen für das Lösbarkeitsproblem oder eine äußere Abschätzung dieser zu finden. Dies ist aufgrund der Nichtlinearitäten oftmals nicht oder nur schwer möglich. Deshalb wird das nichtlineare Lösbarkeitsproblem in ein semidefinites oder lineares Problem relaxiert. Dies ermöglicht es, garantierte äußere oder innere Approximationen der Lösungsmengen effizient zu bestimmen.

Im Rahmen des Vortrags wird aufgezeigt, dass der Ansatz trotz der auftretenden Unsicherheiten garantierte Aussagen bezüglich der Modellgültigkeit, Schätz- und Regelgüte erlaubt. Anwendungen aus verschiedenen Bereichen, wie zum Beispiel der Schätzung des Ladezustands bei Li-Ionen Batterien [1], der Fehlerdiagnose bei Axialkolbenpumpen für hydraulische Anwendungen, der Überwachung von Fertigungsprozessen in der Automatisierungstechnik, der Modellierung zellulärer Vorgänge in der Biotechnologie [2] sowie der (aktiven) Fehlerdiagnose und robusten modellprädiktiven Regelung [3,4], untermauern die praktische Anwendbarkeit.

Literatur:

- [1] M. Rausch, R. Klein, S. Streif, and R. Findeisen. Verfahren zur Batteriezustands-schätzung. *Automatisierungstechnik*, submitted.
- [2] S. Streif, A. Savchenko, P. Rumschinski, S. Borchers, and R. Findeisen. (2012). ADMIT: a toolbox for guaranteed model invalidation, estimation and qualitative-quantitative modeling. *Bioinformatics*, 28(9): 1290-1291.
- [3] S. Streif, M. Kögel, T. Bähge, and R. Findeisen. Robust nonlinear model predictive control with constraint satisfaction. *IFAC World Congress*, submitted.
- [4] J. A. Paulson, D. M. Raimondo, R. D. Braatz, R. Findeisen, and S. Streif. Active fault diagnosis for nonlinear uncertain systems. *European Control Conference*, submitted.

Adaptive Entwicklungspunktwahl und globale Fehlerschranken bei der Modellreduktion mittels Krylow-Unterraum-Verfahren

Heiko K. F. Panzer *

* Lehrstuhl für Regelungstechnik
Technische Universität München
Boltzmannstr. 15, 85748 Garching
Tel.: 089/289-15592
Fax: 089/289-15653
panzer@tum.de

Boris Lohmann **

** Lehrstuhl für Regelungstechnik
Technische Universität München
Boltzmannstr. 15, 85748 Garching
Tel.: 089/289-15610
Fax: 089/289-15653
lohmann@tum.de

Schlüsselwörter: Modellordnungsreduktion, Krylow-Unterraum-Verfahren

Ein etabliertes Verfahren zur Modellordnungsreduktion (MOR) linearer, zeitinvarianter Zustandsraummodelle bilden die sogenannten Krylow-Unterraum-Methoden, die dank ihres vergleichsweise geringen numerischen Aufwands auch zur Reduktion sehr großer Zustandsraummodelle eingesetzt werden können [1].

Allerdings weisen sie ggü. konkurrierenden Verfahren wie dem Modalen oder Balancierten Abschneiden diverse Nachteile auf: Sie erfordern die Wahl geeigneter Entwicklungspunkte (*Shifts*), Stabilitätserhaltung ist nicht zwangsläufig gewährleistet, und es existieren keine globalen, rigorosen Fehlerschranken zur Beurteilung der Reduktionsgüte.

Eine faktorisierte Darstellung des Fehlersystems [2] könnte für alle drei genannten Hindernisse Abhilfe schaffen. Zum einen ermöglicht sie die kumulative und optimierte Wahl der Entwicklungspunkte in Form einer „Salamitaktik“; insbesondere kann die Ordnung des reduzierten Systems, die bislang schon a priori festgelegt werden musste, adaptiv gewählt werden [3]. Zum anderen können für Systeme, deren Matrizen gewisse Definitheitsbedingungen erfüllen – viele Systeme zweiter Ordnung lassen sich beispielsweise entsprechend formulieren [4] –, rigorose globale Fehlerschranken in der H_∞ - und der H_2 -Norm hergeleitet werden, deren Auswertung nur geringen zusätzlichen Aufwand erfordert [5].

Im Vortrag werden diese Konzepte zunächst vorgestellt, anschließend werden diverse Ideen zu ihrer Verbesserung und Erweiterung skizziert. Denkbar ist beispielsweise, die kumulative Entwicklungspunktwahl so zu gestalten, dass die Fehlerschranken monoton fallen und möglichst geringe Überschätzung aufweisen. Auch sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die Konvergenz der im Rahmen der „Salamitaktik“ durchgeführten Optimierung drastisch zu beschleunigen.

Literatur:

- [1] A.C. Antoulas: "Approximation of large-scale dynamical systems". SIAM, 2005.
- [2] T. Wolf, H. Panzer und B. Lohmann: "Gramian-based error bound in model reduction by Krylov-subspace methods". In: 18th IFAC World Congress. Milano, Italy, 2011, S. 3587–3592.
- [3] H. K. F. Panzer, S. Jaensch, T. Wolf und B. Lohmann: "A Greedy Rational Krylov Method for H_2 -Pseudooptimal Model Order Reduction with Preservation of Stability". In: Proceedings of the American Control Conference. 2013, S. 5532–5537.
- [4] H. K. F. Panzer, B. Kleinherne und B. Lohmann: "Analysis, Interpretation and Generalization of Strictly Dissipative State Space Formulation of Second Order Systems". In: Günter Roppenecker / Boris Lohmann (Hrsg.): Methoden und Anwendungen der Regelungstechnik. Shaker-Verlag, 2013.
- [5] H. K. F. Panzer, T. Wolf und B. Lohmann: " H_2 and H_∞ Error Bounds for Model Order Reduction of Second Order Systems by Krylov Subspace Methods". In: Proceedings of the European Control Conference. 2013, S. 4484–4489.

Laufzeitsysteme für die nächste Generation der industriellen Automation – Paradigmen, Referenzarchitektur, Eigenschaften

Sten Grüner *

* Lehrstuhl für Prozessleittechnik
RWTH Aachen University
Turmstr. 46, D-52064, Aachen
Tel.: (0241) 80-97745
Fax: (0241) 80-92238
E-Mail: s.gruener@plt.rwth-aachen.de

Schlüsselwörter: Laufzeitsysteme, verteilbare Automatisierung

Die stattfindende Flexibilisierung und Modularisierung der verfahrens- und fertigungstechnischen Anlagen ändert das Anforderungsprofil an die industrielle Automation auf allen Ebenen der Automatisierungspyramide. Diese Veränderung wird besonders durch die aktuellen Großprojekte Industrie 4.0, Internet der Dienste etc. forciert, die die Möglichkeiten der verteilten, über globale Netzwerke verkoppelten Produktionssysteme (bekannt als Cyber-Physical Production Systems) erforscht. Nur unter der Voraussetzung einer gemeinsamen Grundarchitektur kann eine effektive Zusammenarbeit zwischen den heterogen aufgebauten Einzelsystemen ermöglicht werden [1]. Die Laufzeitsysteme auf der zweiten Ebene der Automatisierungspyramide sind in ihrer Rolle als Schnittstelle zwischen Aufgabenbereichen mit und ohne Echtzeitanforderungen davon besonders stark betroffen. Heutige monolithische Strukturen müssen aufgelöst werden, ohne die prozess- und sicherheitskritischen Anforderungen an die eingebettete Software zu gefährden.

Zwei Hauptziele für die Entwicklung neuer Laufzeitsysteme sind die Verbesserung der Portabilität und der Verteilbarkeit der eingesetzten Applikationen. Die Portabilität ist die essenzielle Anforderung für Migration einer Applikation zwischen unterschiedlichen Systemen. Die Migration der Applikationen ist nicht nur bei planmäßigen Systemveränderungen, sondern auch bei sich ändernder Last und agentenorientierten Entwicklungsansätzen notwendig. Ein Sonderfall ist die Verteilung einer logischen Applikation auf mehrere Hard- oder Softwaresysteme (z. B. CPU-Kerne). Die Applikation muss dabei so zerteilt werden, dass ihre Semantik dabei unverändert bleibt.

Für die Lösung der dieser Probleme schlagen wir eine komponenten- und dienstbasierte Architektur vor (Abbildung 1). Die Applikation wird dabei in selbstständige Komponenten (SK) unterteilt, die parallel lauffähig sind. Die Kommunikation zwischen den Komponenten erfolgt dienstbasiert über die unterliegende Kommunikationsinfrastruktur und ist für den Entwickler transparent [2]. Die Logik innerhalb der Komponenten kann in verfügbaren Programmiersprachen der Leitebene beschrieben werden. Hierfür existieren mehrere Programmierparadigmen, die durch die Komponentenarchitektur harmonisiert werden. Ein prominentes Beispiel ist die Koexistenz zwischen den zyklischen und den eventgesteuerten Funktionsbausteinnetzwerken (IEC 61131 und IEC 61499).

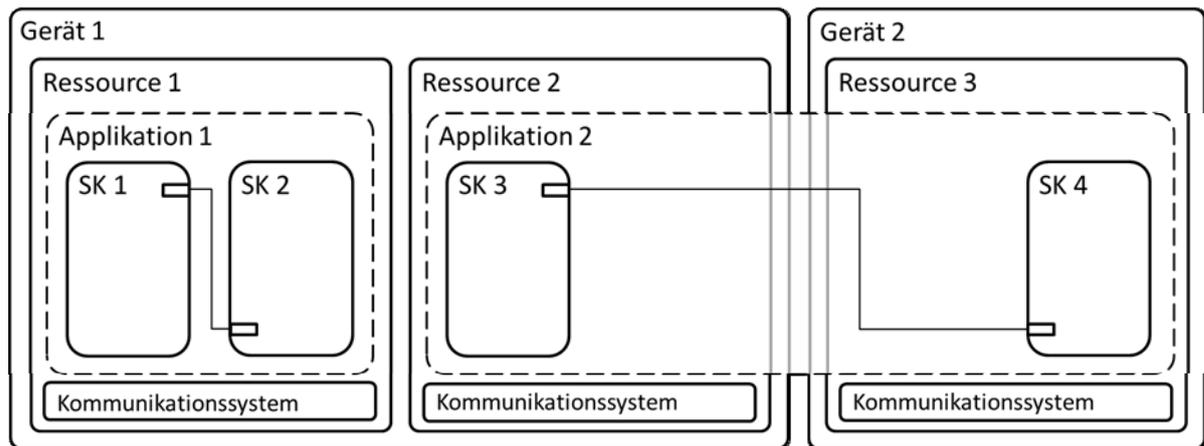


Abbildung 1: Komponentenarchitektur

Portabilität und Verteilbarkeit können aber nicht allein durch die Laufzeitumgebung garantiert werden, wenn Echtzeitbedingungen eine Rolle spielen. Neben der Entwicklung einer geeigneten Architektur für Laufzeitsysteme ergeben sich auch Anforderungen an die ausgeführten Applikationen. Um Laufzeitanderungen sicher durchführen zu können, müssen bestimmte Merkmale der verwendeten Softwarekomponenten wie z. B. Zeitschranken und Speicherbedarf bekannt bzw. bestimmbar sein. Die Planung der sicheren Modifikationsstrategien unter der Berücksichtigung dieser Informationen ist die Fragestellung aktueller Forschung. Die allgemeine Vorgehensweise ist aber realistisch, da sich die Randbedingungen für Echtzeitprobleme der industriellen Automatisierung von denen anderer Echtzeitdomanen wie z. B. eingebetteter Systeme in der Automobilindustrie unterscheiden. Zum einen stehen mehr Hardware- und Energieressourcen zur Verfügung, zum anderen unterscheiden sich (vor allem in der Prozessautomatisierung) die physikalischen Zeitkonstanten der zu beherrschenden Systeme um mehrere Größenordnungen.

Literatur:

[1] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, „Cyber-Physical Systems aus Sicht der Automation“, [online] <http://www.vdi.de/presse/artikel/cyber-physical-systems-aus-sicht-der-automation/>, 9. April, 2013

[2] S. Grüner, U. Epple, „Paradigms for Unified Runtime Systems in Industrial Automation“, 2013 European Control Conference (ECC 2013), 17-19 Juli, 2013, Zürich

Lösung von Fahrplanstrategien für dezentrale Energieanlagen eines virtuellen Kraftwerks

Christian Müller *

* Institut für Automatisierungstechnik
TU Bergakademie Freiberg
Lessingstr. 45, 09599 Freiberg
+49 3731 39-2972
+49 3731 39-3481
Christian.Mueller1@aut.tu-freiberg.de

Andreas Rehkopf **

** Institut für Automatisierungstechnik
TU Bergakademie Freiberg
Lessingstr. 45, 09599 Freiberg
+49 3731 39-3291
+49 3731 39-3481
Andreas.Rehkopf@aut.tu-freiberg.de

Schlüsselwörter: Virtuelles Kraftwerk (VK), Strategie, Energiemanagement

Den im Rahmen der Energiewende immer wieder im Fokus stehenden virtuellen Kraftwerken, welche aus verschiedensten Energieerzeugern, -speichern und -verbrauchern bestehen, wird ein großes Potential eingeräumt. Das Hauptziel ist es, durch geschickte Start-Stopp-Mechanismen der Anlagen einen „Produktions-Last-Ausgleich“ zu erreichen.

Am Institut für Automatisierungstechnik wurde ein webbasiertes Monitoringtool erstellt, welches es ermöglicht, Daten beliebiger Anlagen (Blockheizkraftwerke, Solarthermie, Photovoltaik, Windenergie, Akkumulator, usw.) sensorisch zu erfassen, zu speichern, aufzubereiten und darzustellen. Die gesamte Kommunikation in diesem System erfolgt zurzeit mit RSA 1024 Bit und AES 128 Bit hybride verschlüsselt. Damit ist das System nach heutigem Stand der Technik weitestgehend vor Schadangriffen geschützt [1]. Das Tool bietet dem Nutzer weiterhin die Möglichkeit, die Anlagen serverseitig überwachen zu lassen und im Fehlerfall per SMS oder Email benachrichtigt zu werden. Die Hauptaufgabe des Programms ist jedoch die Erstellung und der automatisierte Versand der berechneten Fahrpläne zu den Anlagen.

Im vorliegenden Beitrag werden Möglichkeiten aufgezeigt, Ansteuerungsreihenfolgen als Output einer Simulation zu erzeugen, die gewissen Rand- und Anfangsbedingungen genügen. Dabei wird vom Betreiber eines virtuellen Kraftwerks eine elektrische Bedarfskurve vorgegeben, welche durch die Anlagen möglichst gut abgedeckt werden muss. Da die zur Verfügung stehenden Anlagen teilweise nur diskrete Leistungsstufen abgeben können, stellt sich das Problem als gemischt-ganzzahlige Optimierungsaufgabe dar. Schematisch ist dies in Abbildung 1 dargestellt.

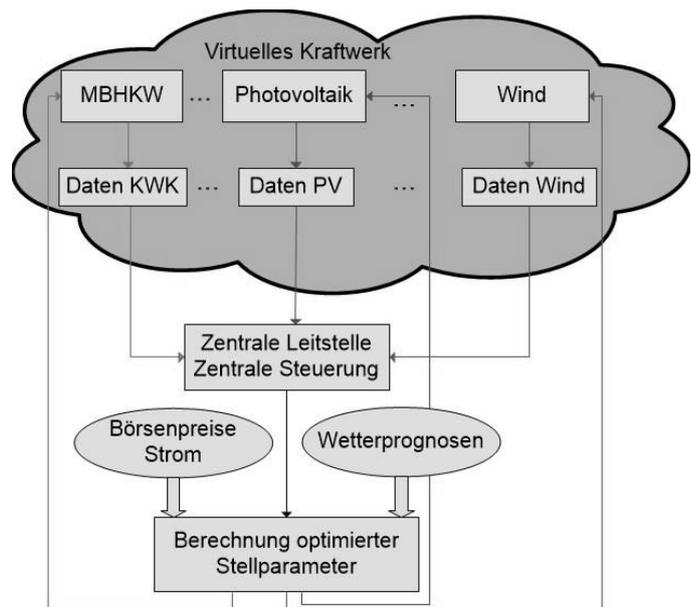


Abbildung 1: Kommunikationsstruktur im VK

Der Lösungssuchraum wird durch lokale Randbedingungen wie technische Anlagenparameter (Wirkungsgrad, Anzahl der Startvorgänge pro Tag, usw.) und die aktuellen Anlagenzustände (Istwerte) eingeschränkt. Diese sind für jede Anlage in einer Datenbank hinterlegt und stehen dem Tool/Algorithmus zur Verfügung. Als globale Randbedingungen können Simulationszeitraum, -schrittweite und Optimierungsstrategie angesehen werden. Jede Strategie enthält unterschiedliche Zielfunktionen und Wichtungen, aber immer unter der Maßgabe der Einhaltung der durch den VK-Betreiber geforderten elektrischen Leistung. Zurzeit werden vier Strategien auf ihre Rechenzeit und Güte hin untersucht, welche in [2] genauer erläutert werden:

- *Relative Speichertemperatur*
- *Gleiche prozentuale Auslastung*
- *Verfügbare Zeit*
- *Thermisch vorausschauend*

Im Weiteren soll der Beitrag einen Ansatz für ein zweistufiges, gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell nach [3, 4] aufzeigen, in dem in der unteren Ebene die Anlagenbesitzer und in der oberen der VK-Betreiber agieren. Die Interessen beider Gruppen sind gegenläufig (Kostenminimierung unten, Gewinnmaximierung oben) und müssen durch Anreize gekoppelt werden [5].

Literatur:

- [1] C. Eckert: IT-Sicherheit: Konzepte – Verfahren – Protokolle, 7. Auflage, 2012, Oldenbourg Wissenschaftsverlag
- [2] J. Kukat: Dynamische Modellgenerierung für Virtuelle Kraftwerke auf KWK-Basis, Masterarbeit, Institut für Automatisierungstechnik, TU Freiberg, 2013
- [3] C. Müller, A. Rehkopf: Einführung in das Verfahren des Bilevel Programming (Methoden der multikriteriellen Optimierung) für Anwendungen in der Automatisierungstechnik am Beispiel eines virtuellen Kraftwerks auf Basis von Mikro-Blockheizkraftwerken, VDI-GMA, 2010, Salzburg
- [4] C. Müller, A. Rehkopf: Optimale Betriebsführung eines virtuellen Kraftwerks auf Basis von gasbetriebenen Mikro-Blockheizkraftwerken, at-Automatisierungstechnik, 03/2011
- [5] S. Dempe: Foundations of Bilevel Programming, Springer, 2002

Verteilte Systeme zur Erstellung von Einspeise- und Lastprognosen

Lukas Exel und Georg Frey

Lehrstuhl für Automatisierungstechnik
Universität des Saarlandes
66123 Saarbrücken, Campus A5 1
Tel.: +49 681 / 302 575 66; +49 681 / 302 575 90
{lukas.exel|georg.frey}@aut.uni-saarland.de

Schlüsselwörter: Smart Grid, Dezentrale Stromerzeugung, Dezentrales Lastmanagement, Einspeiseprognose, Anforderungen an Vorhersagen.

Einspeisevorhersagen von dargebotsabhängigen Stromerzeugern, wie Wind- und Solaranlagen, spielen eine Schlüsselrolle beim Aufbau einer auf erneuerbaren Energien beruhenden dezentralen Stromerzeugung. Sie werden gemeinsam mit den Prognosen für die Netzlast genutzt, um die Erbringung der verbleibenden Residuallast durch Kraftwerke zu planen. Zur Erstellung der Einspeiseprognosen haben sich proprietäre, zentrale Systeme, wie das Wind Power Prediction Tool (WPPT) [1], durchgesetzt. Diese erstellen Prognosen für die Gesamtheit aller Anlagen in einem großen räumlichen Gebiet. Sie nutzen hierzu Echtzeitmessungen einiger ausgewählter Energieerzeugungsanlagen, Wettervorhersagen und das Wissen über den gesamten Anlagenpark. Zur Prognose der Last werden hingegen hauptsächlich Standardlastprofile für den Verlauf des Tagesverbrauchs angenommen. Diese Profile basieren auf Erfahrungen und besitzen lediglich Abhängigkeiten bezüglich der Kundengruppe (Haushalt, Gewerbe, Landwirtschaft) und wenigen weiteren Parametern, z. B. dem Wochentag und der Außentemperatur. Vor dem Hintergrund der Veränderung des Stromnetzes hin zu einem „Smart Grid“, in dem nicht nur die Stromproduktion dezentralisiert ist, sondern auch Steuerungs- und Regelungsaufgaben von verteilten kommunizierenden Einheiten erbracht werden, ist es allerdings fraglich, ob die bisherigen Methoden die zukünftigen Anforderungen erfüllen können. Als Beispiel sei der steigende Anteil an „Haushalts-Energie-Management-Systemen“ (HEMS) genannt, die letztlich die Energiekosten eines Haushalts minimieren sollen [2]. Hierzu lösen diese ein Minimierungsproblem unter gegebenen Randbedingungen, wie der prognostizierten eigenen Einspeisung und Last. Einen zusätzlichen „Freiheitsgrad“ besitzen diese Systeme durch die Verknüpfung mit lokalen Energiespeichern, deren Lade- und Entladevorgänge sie beeinflussen können. Die Beeinflussung des HEMS auf das Ein- und Ausspeiseverhalten wird von den momentanen Methoden zur Lastprognose nicht abgedeckt.

Im Vortrag werden zuerst die unterschiedlichen Nutzer identifiziert, für die Prognosen von Relevanz sind und deren jeweiligen Anforderungen an ein Prognosesystem spezifiziert. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf Konzepten für die Netzregelung im Verteilnetz. Als Beispiel kann das von Chistyakov et al. vorgeschlagene Konzept [3] genannt werden, das zur Spannungsregelung im Verteilnetz lokale Vorhersagen nutzt. Betrachtet werden Anforderungen wie benötigte Prognosezeitspanne (z.B. 0 bis 72 h) und örtliche Auflösung (anlagenscharf bis netzweit), aber auch Anforderungen bezüglich Echtzeitfähigkeit und Verfügbarkeit. Diese Betrachtungen werden unter den heutigen, aber insbesondere auch unter möglichen zukünftigen gesetzlichen und technischen Rahmenbedingungen durchgeführt.

Basierend auf den spezifizierten Anforderungen wird im zweiten Teil des Vortrages die grundlegende Struktur eines Vorhersagesystems vorgestellt, das die herausgearbeiteten Anforderungen erfüllt. Die Grundidee des vorgeschlagenen Systems ist, dass jede Einspeise- und Lastentität seine jeweilige Prognose durch einen „Agenten“ selbst bestimmt und diese zur Verfügung stellt. Die Prognose wird somit an jenem Ort erstellt, an dem die höchste Informationsdichte über das lokale System vorliegt. Von besonderer Relevanz ist dieses Vorgehen, wenn die Ein- bzw. Ausspeisung, wie im Falle eines HEMS, von Algorithmen abhängig ist, die außerhalb des lokalen Systems nicht bekannt sind. Das Konzept sieht weiterhin vor, dass im Agenten Prognoseverfahren zum Einsatz kommen können, die im universitären Umfeld zwar bereits entwickelt wurden, in momentan eingesetzten Systemen aber keine Rolle spielen. Genannt sei hier z. B. die Arbeit von Chow et al. [4], welche die Kurzzeitvorhersage für Photovoltaikanlagen durch die Zuhilfenahme von an der Anlage aufgenommenen Himmelsbildern verbessert. Hierzu werden die Wolken auf den Bildern analysiert und deren Bewegungsrichtung prognostiziert. Dies erlaubt letztlich eine Prognose der Einstrahlung auf die Solarzelle. Zusätzlich ist eine Verbesserung der Prognose durch die Kommunikation der einzelnen Agenten untereinander möglich; ein einfaches Verfahren findet sich z. B. in [5]. Ein weiterer Schwerpunkt beim Entwurf des Agenten liegt auf der Entwicklung von geeigneten Rechnermodellen für die Energieerzeugungseinheit (z. B. Solarzelle), die den Zusammenhang zwischen Dargebotsgröße (z. B. Einstrahlung) und elektrischer Einspeiseleistung herstellen.

Die vorgeschlagene Struktur des Vorhersagesystems wird mit der von Moslehi et al. propagierten IT-Architektur [6] für das Smart Grid in Beziehung gesetzt. Zusätzlich wird eine Beziehung zur IEC 61850 hergestellt. Die Norm ist ein Standard in der Stationsautomatisierung und wurde mit dem Teil 7-420 auf dezentrale Energieerzeugungsanlagen ausgeweitet. Sie definiert neben der Kommunikationsstruktur unter anderem ein Objektmodell, das zum Austausch bestimmte Informationen definiert.

Literatur:

- [1] ENFOR, "Wind Power Prediction Tool (WPPT)." [Online]. Available: http://www.enfor.dk/wind_power_prediction_tool_wppt.php. [Accessed: 28-May-2013].
- [2] C. Clastres, T. T. Ha Pham, F. Wurtz, and S. Bacha, "Ancillary services and optimal household energy management with photovoltaic production," *Energy*, vol. 35, no. 1, pp. 55–64, Jan. 2010.
- [3] Y. Chistyakov, E. Kholodova, K. Netreba, A. Szabo, and M. Metzger, "Combined central and local control of reactive power in electrical grids with distributed generation," in *Proc. of IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON)*, pp. 325–330, 2012.
- [4] C. W. Chow, B. Urquhart, M. Lave, A. Dominguez, J. Kleissl, J. Shields, and B. Washom, "Intra-hour forecasting with a total sky imager at the UC San Diego solar energy testbed," *Solar Energy*, vol. 85, no. 11, pp. 2881–2893, Nov. 2011.
- [5] M. Alexiadis, P. Dokopoulos, H. Sahsamanoglou, and I. Manousaridis, "Short-term forecasting of wind speed and related electrical power," *Solar Energy*, vol. 63, no. 1, pp. 61–68, Jul. 1998.
- [6] K. Moslehi and R. Kumar, "A Reliability Perspective of the Smart Grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 57–64, Jun. 2010.

Softsensorbasierte Durchflussschätzung zur kostengünstigen Regelung von Kreiselpumpen

Sebastian Leonow *

* Lehrstuhl für Regelungstechnik und Systemtheorie
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
0234 3226353
0234 3228060
sebastian.leonow@rub.de

Martin Mönnigmann **

** Lehrstuhl für Regelungstechnik und Systemtheorie
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
0234 3224060
0234 3228060
martin.moennigmann@rub.de

Schlüsselwörter: Softsensorik, Durchflussschätzung, Kreiselpumpen

Pumpen stellen heute im Energieverbrauch der EU eine nicht zu vernachlässigende Größe dar. So werden ca. 16% des Energieverbrauchs im Dienstleistungssektor durch Pumpen verursacht. Mehr als die Hälfte dieser Pumpen haben Eingangsleistungen von weniger als 30kW [1]. Insbesondere diese kleinen Pumpenaggregate werden häufig unregelmäßig betrieben und befinden sich dadurch oftmals abseits ihres energetisch optimalen Betriebspunktes. Gründe hierfür sind Mehrkosten und Mehraufwand, welche die Ausrüstung mit automatischer Regelungstechnik mit sich bringt. Zusätzlich erfordert die Auslegung einer automatischen Regelung immer ein gewisses regelungstechnisches Grundwissen, das sich Anwender häufig nicht zutrauen. Unser Ziel ist es daher, Algorithmen zur Prozessidentifikation und zur Reglersynthese in die Pumpeneinheit zu integrieren, um den Anwender so weit wie möglich zu entlasten. Mit Hilfe von softsensorbasierten, pumpeninternen Schätzalgorithmen für verschiedene Prozessgrößen kann außerdem auf die Installation externer Messtechnik verzichtet werden. Im Idealfall soll der Anwender nur noch den zu seiner Anwendung passenden Eintrag aus einer Liste von Szenarien auswählen müssen, um die automatische Auslegung der Regelung zu starten [2].

Im Rahmen dieses Vortrages stellen wir ein Verfahren zur Durchflussschätzung in langsamlaufenden Kreiselpumpen vor, das unabhängig von der Dichte des Fördermediums arbeitet. In Prüfstandsmessungen konnte eine gesteigerte stationäre Genauigkeit des vorgestellten Schätzverfahrens im Vergleich zu bestehenden Verfahren [3-5] gezeigt werden. Darüber hinaus kann über ein dynamisches Modell der Motor-Pumpen-Sensor Einheit eine deutlich gesteigerte Schätzgüte auch in instationären Betriebssituationen erreicht werden.

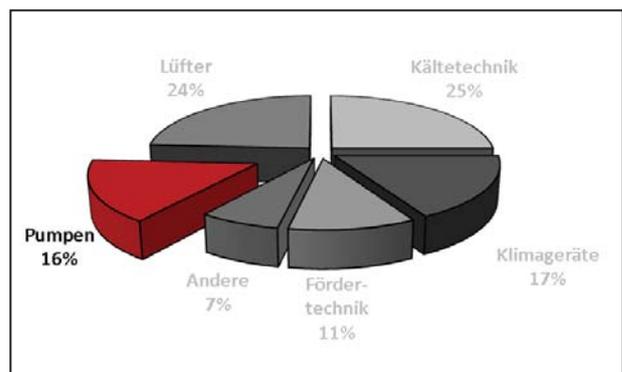


Abbildung 1: Prozentualer elektromotorischer Energieverbrauch im EU-Dienstleistungssektor [1]

Literatur

- [1] A.T. de Almeida, P. Fonseca, H. Falkner, and P. Bertoldi: *Market transformation of energy-efficient motor technologies in the EU*. Energy Policy, volume 31, no. 6 (2003): 563-575
- [2] S. Leonow and M. Mönnigmann: *Automatic identification and controller synthesis for fluid level control using soft sensing*. IFAC Symposium on Dynamics and Control of Process Systems 2013, Mumbai, 2013 (accepted).
- [3] S. Leonow and M. Mönnigmann: *Soft sensor based dynamic flow rate estimation in low speed radial pumps*. Proceedings of the 13th European Control Conference, Zurich, 2013: 778-783.
- [4] T. Ahonen, J. Tamminen, J. Ahola and J. Kestilä: *Frequency-Converter-Based Hybrid Estimation Method for the Centrifugal Pump Operational State*. IEEE Trans. On Industr. Electr., vol. 59, no. 12 (2012): 4803-4809.
- [5] D. J. Kernan: *Method for determining pump flow without the use of traditional sensors*. U.S. Patent, 7.945.411, 2011

Kurzfassungen

Kurzfassungen zum Download unter:

www.iosb.fraunhofer.de/?Boppard

Freitag, 21. Februar 2014

11:00 – 12:00 Iterativ lernende Regelungen Sitzungsleitung: Prof. Raisch		Bewegungsanalyse des Menschen Sitzungsleitung: Prof. Stiller
11:00 – 11:30	Iterativ lernende Regelung in einem Receding-Horizon Konzept <i>Simon Steinberg (Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik, TU Berlin, Prof. King, Gr. 2)</i>	Erkennung menschlicher Aktivitäten durch Körpertracking mit evolutionärem Algorithmus <i>Kristine Back (Institut für Industrielle Informationstechnik, Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Prof. Puente, Gr. 30)</i>
11:30 – 12:00	Iterativ lernende modellprädiktive Regelung periodischer Prozesse am Beispiel einer nichtlinearen hydraulischen Strecke <i>Fabian Kennel (Lehrstuhl für Regelungssysteme, TU Kaiserslautern, Prof. Liu, Gr. 16)</i>	Automation Systems to Support Diagnosis and Rehabilitation of Neurodegenerative Diseases <i>Saravana Natarajan (Institut für Automatisierungstechnik, Universität Bremen, Prof. Gräser, Gr. 5)</i>

Iterativ lernende Regelung in einem Receding-Horizon Konzept

Simon J. Steinberg

Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik
Institut für Prozess- und Verfahrenstechnik
Technische Universität Berlin
Hardenbergstr. 36a, 10623 Berlin
Tel.: 030-314-23401
Fax: 030-314-21129
simon.steinberg@tu-berlin.de

Schlüsselwörter: Iterativ lernende Regelung, Modellprädiktive Regelung für lineare Systeme

In diesem Beitrag wird die Kombination von iterativ lernenden Regelungen (ILR) mit dem Receding-Horizon-Prinzip diskutiert. Hierbei übernimmt die lernende Regelung die Aufgabe der Optimierungsroutine. Ausgehend von einem Modell der Regelstrecke wird in jedem Zeitschritt ein zukünftiger Verlauf des Regelfehlers für einen gegebenen Führungsgrößenverlauf und eine gegebene Steuertrajektorie unter Berücksichtigung des aktuellen Systemzustands prädiziert. Der prädizierte Regelfehler dient nun als Eingangsgröße der ILR, die daraufhin die Steuertrajektorie rechnerintern anpasst. Nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationen, also dem Wechselspiel von Prädiktion und ILR-Schritt, wird nur das zeitlich erste Element der finalen Steuertrajektorie auf die reale Strecke gegeben. Über eine Messung, unter Umständen in Kombination mit einem modellgestützten Messverfahren, wird die Information über den Systemzustand aktualisiert. Unter Berücksichtigung des neuen Systemzustands wird die Optimierung im nächsten Zeitschritt wiederholt. Hierbei dient die finale Steuertrajektorie aus dem vorangegangenen Zeitschritt als Startwert. Die eigentliche Regelungsaufgabe muss hierbei keinerlei Periodizität aufweisen wie es sonst bei der Anwendung von ILR üblich ist.

ILR stellen also ein nützliches Werkzeug zur Lösung von Optimierungsaufgaben dar. Hierbei sind zwei Eigenschaften einer ILR hervorzuheben. Zum einen ist die *einmalige* Berechnung der Systemantwort ausreichend, um die *gesamte* Steuertrajektorie im Sinne des betrachteten Gütefunktional zu verbessern, was den erforderlichen Rechenaufwand gering hält. Zum anderen kann über eine geeignete Wahl der Syntheseparameter erreicht werden, dass sich bei beschränkten Optimierungsaufgaben eine vorteilhafte Suchrichtung einstellt.

Im Vortrag wird insbesondere die lineare optimale ILR mit einer quadratischen Kostenfunktion [1], [2], [3] betrachtet. Für den unbeschränkten Fall kann gezeigt werden, dass eine lineare modellprädiktive Regelung (MPR) mit quadratischer Kostenfunktion [4] einen Spezialfall der optimalen ILR darstellt und dass die Lösung der optimalen ILR gegen die Lösung der MPR konvergiert, wenn die Anzahl der Iterationen gegen unendlich strebt. Unterschiede zwischen einer auskonvergierten ILR und einer MPR zeigen sich erst, wenn es zu Nichtlinearitäten, hervorgerufen zum Beispiel durch Stellgrößenbeschränkungen, kommt, die aus Rechenzeitgründen nicht explizit behandelt werden können. Durch die iterative Berechnung des Stellbefehls hat eine ILR die Möglichkeit auf Nichtlinearitäten zu reagieren. Dabei müssen die

Nichtlinearitäten in der Prädiktion der Systemantwort berücksichtigt werden. Hierbei kommt der ILR die Eigenschaft, die Neuberechnung des Stellbefehls in guter Näherung entlang des lokalen Gradienten des Gütefunktionals zu gestalten, zugute, vergleiche hierzu Abbildung 1. Im Gegensatz hierzu springt eine lineare MPR prinzipbedingt direkt in ein vermeintliches Optimum, welches jedoch nur für das entsprechende lineare System gültig ist, siehe ebenfalls Abbildung 1.

Zur Verdeutlichung dieser Unterschiede wird das Verhalten des geschlossenen Regelkreises in einem Experiment mit Stellgrößenbeschränkungen untersucht. Hierbei dient ein Versuchsaufbau bestehend aus zwei Druckbehältern, drei Proportionalwegeventilen (Stellgrößen), sowie Druck- und Massenstrommessstellen (Regelgrößen) als Regelstrecke. Die Resultate der ILR werden mit jenen einer unbeschränkten linearen MPR verglichen, wobei die Beschränkungen aus Gründen der Rechenzeit nur in der Prädiktion der Systemantwort und im modellgestützten Messverfahren berücksichtigt werden.

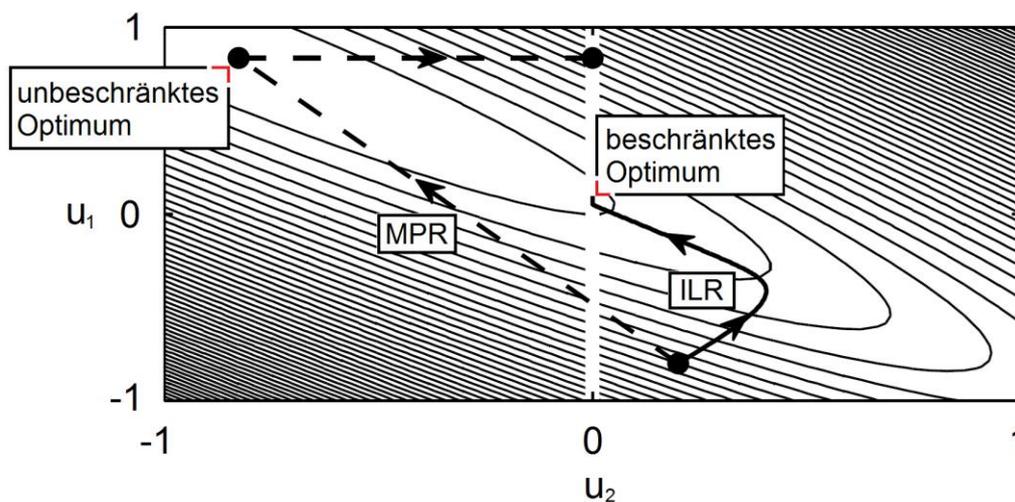


Abbildung 1: Vergleich des Weges einer MPR (gestrichelt) und einer ILR (durchgezogen) durch ein Gütegebirge (Konturlinien). Stellgrößenbeschränkung $u_2 \geq 0$.

Literatur:

- [1] N. Amann, N. D. H. Owens und E. Rogers, *Iterative learning control for discrete-time systems with exponential rate of convergence*, IEE Proceedings - Control Theory and Applications, 1996, 143(2), 217-224
- [2] S. Gunnarsson und M. Norrlöf, *On the design of ILC algorithms using optimization*, Automatica, 2001, 37(12), 2011-2016
- [3] D. A. Bristow, M. Tharayil und A. G. Alleyne, *A survey of iterative learning control*, IEEE Control Systems, 2006, 26(3), 96-114
- [4] L. Wang, *Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB*, Series Advances in Industrial Control, Springer, 2009

Iterativ lernende modellprädiktive Regelung periodischer Prozesse am Beispiel einer nichtlinearen hydraulischen Strecke

Fabian Kennel *

Steven Liu **

* Lehrstuhl für Regelungssysteme
Technische Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger-Straße 12
Tel.: +49 – (0)631 – 205 – 4458
Fax.: +49 – (0)631 – 205 - 4205
kennel@eit.uni-kl.de

** Lehrstuhl für Regelungssysteme
Technische Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger-Straße 12
Tel.: +49 – (0)631 – 205 – 4535
Fax.: +49 – (0)631 – 205 - 4205
sliu@eit.uni-kl.de

Schlüsselwörter: Iterativ lernende Regelung, Modellprädiktive Regelung, Regelung periodischer Prozesse, Optimierung, Trajektorienplanung, Trajektorienfolgeregelung

Mit zunehmender Automatisierung in der Industrie ist die Anzahl von Robotersystemen stark angestiegen. Diese werden in den verschiedensten Bereichen eingesetzt und erledigen in der Regel sich wiederholende Abläufe. Für solche Prozesse kann die Regelgüte weiter gesteigert werden. Hierbei kommen iterativ lernende Regelungen (ILR) [1] zum Einsatz. Eine Verwendung von ILR-Methoden ist ebenfalls für periodisch geregelte Systeme sinnvoll. Im Vortrag wird dies am Beispiel von Fluiddosierung verdeutlicht (oszillierende Verdrängerpumpen).

Immer leistungsfähigere Prozessoren und Mikrocontroller erlauben den Einsatz von modellprädiktiven Regelungsmethoden. Gerade auf iterative/periodische Prozesse kann eine ILR Optimierung effizient und gezielt angewendet werden.

In diesem Vortrag wird ein ILR Konzept auf Basis modellprädiktiver Regelungsmethoden am Beispiel einer nichtlinearen hydraulischen Strecke vorgestellt. Zur Störunterdrückung werden hierbei die Trajektorien des unterlagerten geregelten Prozesses angepasst und das Systemverhalten iterativ verbessert. Systembeschränkungen werden durch das Verfahren berücksichtigt. Die verwendeten Optimierungsmethoden ermöglichen weitere Regelungsziele. So lassen sich beispielsweise eine Systemidentifikation, Regleradaption sowie eine Trajektorienplanung und –variation zur Energiereduktion in das ILR Konzept integrieren. Um den Berechnungsaufwand des ILR Optimierungsverfahrens zu senken, wird dieses auf Basis variabler/adaptiver Abtastzeiten aufgebaut und eine Fast Gradient Method [2] verwendet. Die Stabilität der ILR wird durch eine geeignete Wahl der Kostenfunktion sichergestellt. Abschließend werden die Ergebnisse am Beispiel einer nichtlinearen hydraulischen Strecke veranschaulicht.

Literatur:

- [1] Markus Kögel, Rolf Findeisen. Fast predictive control of linear, time-invariant systems using an algorithm based on the fast gradient method and augmented Lagrange multipliers, In *IEEE International Conference on Control Applications, Denver, USA, September 28-30,2011*, pp. 780-785, 2011
- [2] Suguru Arimoto, Sadao Kawamura, Fumio Miyazaki. *Bettering operation of robots by learning. Journal of Robotic Systems*, Vol. 1, Issue 2, pp. 123-140, 1984

Erkennung menschlicher Aktivitäten durch Körpertracking mit evolutionärem Algorithmus

Kristine Back *

Fernando Puente León **

* Institut für Industrielle Informationstechnik
 Karlsruher Institut für Technologie
 Hertzstr. 16 / Geb. 06.35, 76187 Karlsruhe
 0721-608-44622
 0721-608-44500
 back@kit.edu

** Institut für Industrielle Informationstechnik
 Karlsruher Institut für Technologie
 Hertzstr. 16 / Geb. 06.35, 76187 Karlsruhe
 0721-608-44520
 0721-608-44500
 puente@kit.edu

Schlüsselwörter: Markerloses Körper-Tracking, evolutionäre Algorithmen, Bewegungserkennung

In diesem Vortrag wird eine Methode zur bildbasierten Analyse menschlicher Bewegungen vorgestellt, welche auf modellbasiertem dreidimensionalen Körper-Tracking mit einem evolutionären Algorithmus basiert [1]. Das Ziel dabei ist die Bestimmung und Verfolgung der Pose eines Menschen basierend auf Videoaufnahmen und der anschließenden Interpretation des resultierenden Posenverlaufs. Anwendungsmöglichkeiten für solche Verfahren finden sich unter anderem in der Mensch-Maschine-Interaktion, der Computeranimation, der Medizin- und Sicherheitstechnik. Kommerzielle Systeme verwenden häufig spezielle Marker, die am menschlichen Körper befestigt werden (sog. *Motion Capturing*) oder benötigen sehr viele Kameras, um die Person aus verschiedenen Perspektiven aufzunehmen. Das Körpertracking in unkontrollierten Umgebungen, ohne Marker und mit wenigen Kameras ist ein bisher ungelöstes Problem [2]. Um neue Anwendungsmöglichkeiten solcher Systeme außerhalb des Labors zu erschließen, besteht noch viel Forschungsbedarf hinsichtlich markerloser Tracking-Methoden.

In dieser Arbeit wird der menschliche Körper als Zylindermodell dargestellt. Die Pose bzw. der Zustand einer Person wird durch die Modellkonfiguration, d.h. die Werte der Gelenkwinkel und die absolute Position im Raum, repräsentiert. Abbildung 1 zeigt den schematischen Ablauf des Posen-Trackings. Zur Prädiktion des alten Zustandes in den nächsten Zeitschritt wird eine Methode vorgeschlagen, welche im Falle von Überlappungen verschiedener Körperbereiche in

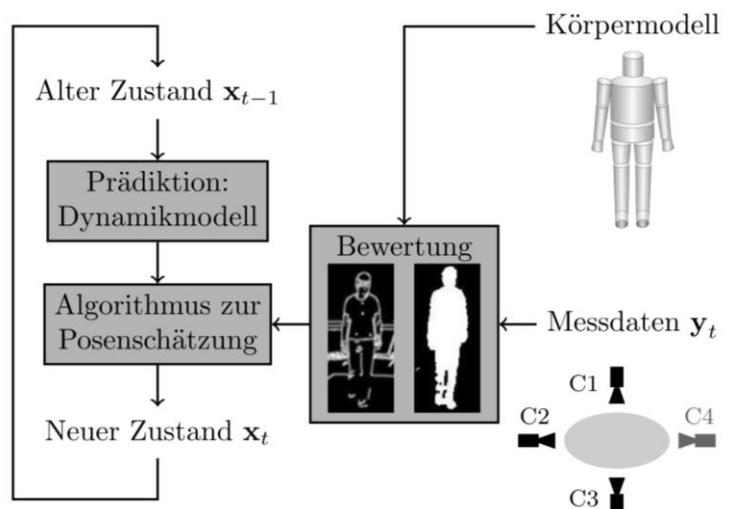


Abbildung 1: Übersicht über den Ablauf des Körper-Trackings

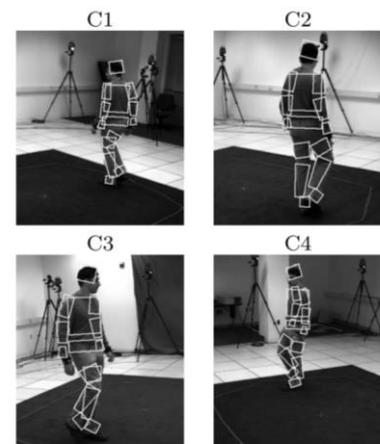


Abbildung 2: Beispiel für einen Zeitschritt (HumanEva-Datensatz [6]).

einzelnen Kamerabildern Zusatzinformationen liefert, um Mehrdeutigkeiten aufzulösen. Zur anschließenden Schätzung der Pose werden Zustandshypothesen durch Vergleich mit den vorliegenden Bilddaten mittels einer Gewichtungsfunktion bewertet. Herkömmliche Methoden der Bayes'schen sequentiellen Schätzung, wie das Kalman- oder Partikelfilter, haben sich für das markerlose Körpertracking als unzureichend herausgestellt [3]. Stattdessen haben sich statistische Optimierungsverfahren als weitaus besser geeignet erwiesen. Daher wird die Posenschätzung auch in dieser Arbeit als Optimierungsproblem angesehen. Es wird eine Methode vorgestellt, welche einen evolutionären Algorithmus [4] verwendet. Der Algorithmus ähnelt und ist inspiriert durch das bekannte „*Annealed*“- bzw. „*Interacting Simulated Annealing*“-Partikelfilter [3,4] und verwendet ebenfalls simuliertes *Annealing*, ein heuristisches Verfahren zur globalen Optimierung. Bei der evolutionären Posenschätzung wird der Zustandsraum von einer Population an Lösungskandidaten durchsucht. Die Optimierung wird durch die Evolutionsfaktoren Rekombination, Mutation und Selektion vorangetrieben und läuft in mehreren Generationen ab. Durch eine geschickte Wahl der Evolutionsfaktoren wird eine effiziente Abarbeitung des Suchraumes ermöglicht und eine robuste Posenschätzung erreicht.

Die Bewegungsanalyse erfolgt durch Auswertung der resultierenden Gelenkwinkelverläufe. Es werden Aktivitätsmodelle aus *Motion-Capture*-Daten gelernt. Basierend darauf können unbekannte Bewegungen analysiert und klassifiziert werden. Eine Methode dazu basiert auf dem Lernen einer Bibliothek charakteristischer Mustersignale möglicher Aktionen und der Projektion unbekannter Signale auf diese Bibliothek [7]. Eine andere Herangehensweise ist die Verwendung parametrischer Sequenzmodelle, wie z.B. Hidden-Markov-Modelle oder Conditional Random Fields [8].

Literatur:

- [1] K. Back, P. Hernández Mesa, M. Diebold und F. Puente León: Dreidimensionales Körper-Tracking mit Hilfe eines evolutionären Algorithmus. *Technisches Messen*, Bd. 80, S. 335-342, 2013.
- [2] T. Moeslund, A. Hilton, V. Krüger und L. Sigal: *Visual Analysis of Humans: Looking at People*, Springer, London, 2011.
- [3] J. Gall, J. Potthoff, C. Schnörr, B. Rosenhahn und H. Seidel: Interacting and annealing particle filters: Mathematics and a recipe for applications, *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Bd. 28, Nr. 1, S. 1-18, 2007.
- [4] J. Deutscher und I. Reid: Articulated body motion capture by stochastic search, *International Journal of Computer Vision*, Bd. 61, Nr. 2, S. 185-205, 2005.
- [5] K. Weicker: *Evolutionäre Algorithmen*. Vieweg + Teubner Verlag, 2007.
- [6] L. Sigal, A. Balan und M. Black: Humaneva: Synchronized video and motion capture dataset and baseline algorithm for evaluation of articulated human motion, *International Journal of Computer Vision*, Bd. 87, Nr. 1, S. 4-27, 2010.
- [7] K. Back und F. Puente León: Erfassung und Erkennung menschlicher Aktionen durch Tracking von Bewegungsmerkmalen, *Technisches Messen*, Bd. 79, S. 189-195, 2012.
- [8] C. Sminchisescu, A. Kanaujia und D. Metaxas: Conditional models for contextual human motion recognition, *Computer Vision and Image Understanding*, Bd. 104, S. 210-220, 2006.

Automation Systems to Support the Diagnosis and Rehabilitation of Neurodegenerative Diseases

Saravana K. Natarajan

Axel Gräser

Institute für Automatisierungstechnik, Universität Bremen
Otto-Hahn-Allee 1, NW1, D-28359 Bremen.
Telefon: 0421 218 – {62471, 62444}
{natarajan, ag}@iat.uni-bremen.de

Keywords: Gait analysis, Skeleton tracking, Postural stability, Posturography

Neurodegenerative diseases such as Parkinson's disease, Polyneuropathy, Multiple Sclerosis etc., typically hits people past the age of 65 and gradually strips away the motor abilities, leaving them with a slow and awkward gait, rigid limbs, tremor and a lack of balance. There is evidence in medical literature that evolving neurodegenerative diseases disturb gait and balance capabilities and that specific training may counteract the development of the diseases [1]. To support early diagnosis and treatment, innovative and cost effective solutions to bring part of the rehabilitation therapy to the home of the patient is essential. Two novel and portable systems, Reha@Home - a markerless gait analysis system and NeuroBalancer - low cost balance assessment systems which facilitate the diagnosis of neurodegenerative diseases are presented. The presented systems use innovative but affordable sensor technologies to capture the gait and postural sway of the patients during the diagnosis and therapy. The systems may also increase the patient's motivation and enable them to do a part of their rehabilitation training at home without the permanent supervision of a therapist. It also offers benefits to the medical doctors for an early diagnosis and assessment of therapy success.

Reha@Home

Vision based gait analysis [2] for gait rehabilitation has gained a lot of importance in recent years due to its low cost, time efficient and non-invasive procedure. But the appearance of a scene under natural lighting conditions is highly variable and is one of the major hurdles for vision based gait analysis approach. Structured light sensors commonly referred as RGBD cameras are a rapidly improving technology that can provide color image of the scene along with dense depth measurements at every point in the scene at high frame rates. Reha@Home can work in a typical living room environment and there is no need for any special clothing for the subjects.

Based on the human body proportions ratios, a novel approach to compute the lower body joints (hips, knees and ankles) from the distance transform image and the segmented 2D image is presented. The joint angles (hip angle, knee angle) along with the gait parameters such as step length, stride length and the cadence are computed from the filtered joint position data. The performance of the Reha@Home system was evaluated by comparing the computed joint angles with the ground truth joint angles obtained from electro goniometer. The mean error (for 15 subjects) in hip angle detection was 2.0° and in knee angle detection was 3.5°.

An important feature for the medical doctor is the possibility to compare the present gait of the patient with that from the earlier diagnosis. With this feature, the progress in the rehabilitation and the effects of prescribed medication can be closely monitored by analyzing the patient's gait at regular intervals

NeuroBalancer

The maintenance of balance and body orientation in humans is guaranteed by the postural control system. The study of postural control is termed as posturography. It is commonly divided into static when the quiet erect posture of the individual is studied and dynamic, when the response to a disturbance applied on the individual is studied. NeuroBalancer system offers an inexpensive and portable balance assessment system to measure the postural sway of an individual under both static and dynamic conditions.

Evaluation of the postural control is based on the interpretation of the center of pressure (CoP) and the center of mass (CoM) data [3]. The CoP is defined as the point of application of the ground reaction forces under the feet measured by the balance board. The CoM is the imaginary point at which the total body mass can be assumed to be concentrated. To compute CoM and CoP, we utilize RGBD camera and Wii Balance board. Center of Mass of the subject is estimated using the 3D joint positions of the skeleton tracked using the RGBD camera while CoP is computed using the balance board data.

Wii balance board comprises of pressure sensors at its four extensions and each sensor measures the vertical component of the force. The CoP is approximated by interpolating the four vertical forces. Based on the human body proportion ratio, the 3D position of the upper body joints (head, neck, shoulder, elbow, hand, and torso) and the lower body joints (hip, knee, and ankle) are estimated from the acquired RGB-D images. The CoM estimation technique uses statically equivalent serial chain (SESC) [4], a virtual serial chain representation of the human body segments whose end-effector directly locates the center of mass. The postural sway in the anterior-posterior (AP) direction and the medial-lateral (ML) direction are estimated in real time based on the CoM and CoP trajectories. The analysis and the interpretation of the CoP-CoM characteristics will be discussed in detail.

The presented systems offer a research potential for the medical doctors to study the correlation between the effects of pathological gait and postural control during the ageing process. This will pave the way for a cost effective and early diagnosis of some neurodegenerative diseases.

References:

- [1] N. Smania et al. "Balance and Gait Rehabilitation in Patients with Parkinson's Disease"; ISBN: 978-953-307-465-8, InTech, DOI: 10.5772/22561, 2011
- [2] A. Leu, D. Ristic-Durrant and A. Gräser: "A robust markerless vision-based human gait analysis system"; Applied Computational Intelligence and Informatics, 2011 (SACI '11) pp. 415-420.
- [3] E. Monsell et al. "Technology assessment: Computerized Dynamic Platform Posturography", J.of Otolaryngol, Vol. 117(4), 1997.
- [4] S. Cotton , A. Murray, P. Fraise, "Statically Equivalent Serial Chain for Modeling the Center of Mass of Humanoid Robots", In proc. of IEEE conf. on Humanoid Robots, 2009.