

Institut für Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften,
Numerik und geometrische Modellierung

Profillinie: Optimierung und Kontrolltheorie

Optimierung, Dynamik und deren Zusammenspiel
Hier lernen Sie die Mathematik dahinter!

Lehrstuhl für Mathematische Systemtheorie

Carsten Scherer

Lehrstuhl für Optimierung und Inverse Probleme

Bernadette Hahn



University of Stuttgart
Germany

SimTech 

Erfolgsgeschichten: Regelung und Optimierung



Advanced Tension Control
in Steel Rolling Mills



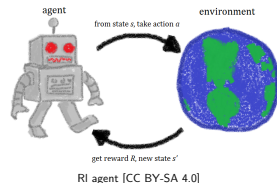
Ethylene Plantwide
Control and Optimization



H_{∞} -Control in
Aerospace



Mobile-Robot-Enabled
Smart Warehouses

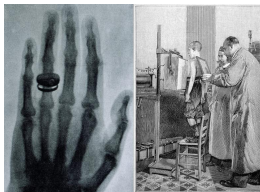


RL agent [CC BY-SA 4.0]

Reinforcement Learning
AlphaGo Zero

The Impact of Control Technology, T. Samad (Honeywell), A. Annaswamy (MIT),
IEEE Control Systems Society

Erfolgsgeschichten: Optimierung und Inverse Probleme



www.welt.de

Klinische Diagnostik



Computertomograph



Überwachung von Bauteilen
(Structural Health Monitoring)



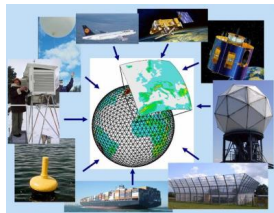
Kohr, Louis; Inverse Problems 2011

Einblick in
Zellstrukturen



NASA, STScI

Bildverarbeitung
(z.B. Deblurring)



Source: Deutscher Wetterdienst

Assimilation von Daten,
Vorhersagemodelle

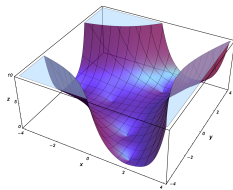
Übersicht

	1. Semester	2. Semester	3. Semester	4. Semester	5. Semester	6. Semester	
3 LP	Lineare Algebra 1 9 LP	Lineare Algebra 2 9 LP	Einführung in die Optimierung 9 LP	Dynamische Systeme 9 LP	Lineare Kontrolltheorie 9 LP	Regularisierung inverser Probleme 9 LP	
6 LP							
9 LP							
12 LP	Analysis 1 9 LP	Analysis 2 9 LP	Analysis 3 9 LP	Maß- & Wahrscheinlichkeitstheorie 9 LP	Computerpraktikum 6 LP	Wahl-Kernmodul 9 LP	
15 LP							
18 LP							
21 LP	Mathematische Programmierung 6 LP		Numerik 1 9 LP	Topologie / Wahl-Kernmodul 9 LP	Algebra / Wahl-Kernmodul 9 LP	Bachelorarbeit 12 LP	
24 LP	Wahl-Kernmodul / Ergänzung 9 LP	Wahl-Kernmodul / Ergänzung 9 LP					
27 LP					SQ 3 LP		
30 LP			SQ 3 LP	Wissenschaftliches Arbeiten 6 LP			

Keine fixierte Reihenfolge für die Kern-Module der Profillinie.

Einführung in die Optimierung

$$\begin{aligned} & \min_{g(x) \leq 0, h(x)=0} f(x) \\ \text{KKT-Bedingungen} \\ & \nabla f(x_*) + \nabla g(x_*)y_* + \nabla h(x_*)z_* = 0 \\ & h(x_*) = 0, g(x_*) \leq 0, y_* \geq 0, y_*^T g(x_*) = 0. \end{aligned}$$



Grundlagen der endlichdimensionalen Optimierung

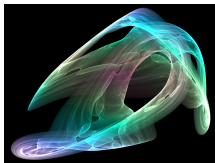
- Übersicht über Vielfalt: Portfoliooptimierung, Neuronale Netze
- Unrestringierte Optimierung
 - Gradienten-, Newton- und Trust-Region-Verfahren
- Restringierte Optimierung
 - Optimalitätsbedingungen, Constraint Qualifications
 - Lösungsverfahren
- Lineare Optimierung

Inhaltliche Fortsetzung: Moderne Methoden der Optimierung

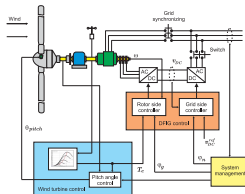
Dynamische Systeme



KUKA Systems GmbH [CC BY-SA 3.0]



Nicolas Desprez [CC BY-SA 3.0]

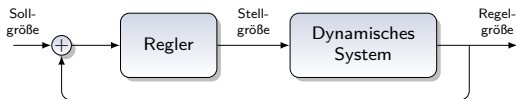


Einführung in die Theorie dynamischer Systeme

- Lineare Systeme und Floquettheorie
- Nichtlineare Systeme von Differentialgleichungen
Existenz, Eindeutigkeit, Variationsgleichung
- Linearisierung und Stabilität
- Lyapunovfunktionen
- Invariante Mannigfaltigkeiten und Bifurkation

Inhaltliche Fortsetzung: Lineare Kontrolltheorie

Lineare Kontrolltheorie



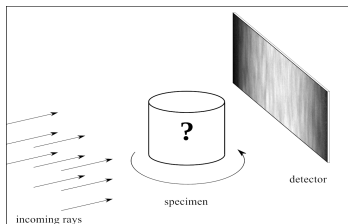
Mathematische Einführung in die Systemtheorie

- Steuerbarkeit, Stabilisierbarkeit und Beobachtbarkeit
- Feedback: Zustands- und Ausgangsrückführung
- Realisierungstheorie und Normalformen
- LQ-Regler und Theorie der Riccatigleichungen
- Entwurf von Kalman-Filtern und H_2 -optimalen Reglern

Erstmals auf
Deutsch

Inhaltliche Fortsetzung: Robust Control, LMIs in Control

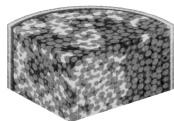
Regularisierung inverser Probleme



Datenaufzeichnung (CT)



Lösung inverses Problem



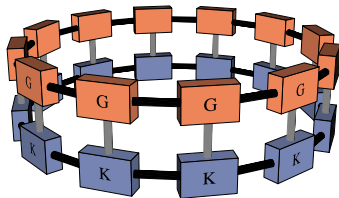
Gesuchte Größe

- Wie lässt sich eine gesuchte Größe stabil und effizient aus Messdaten extrahieren?
- Problem der Schlecht-Gestelltheit
- Verallgemeinerter Lösungsbegriff
- Kontrolle über den Einfluss des Datenfehlers
- Numerische Lösungsverfahren

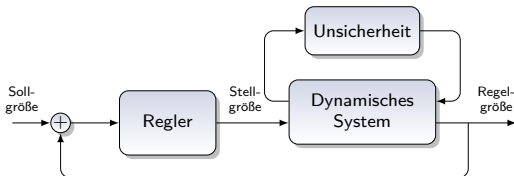
Grundlagen linearer Regularisierungstheorie

Inhaltliche Fortsetzung: Mathematische Methoden der Bildgebung

Vertiefung im Bereich Systemtheorie



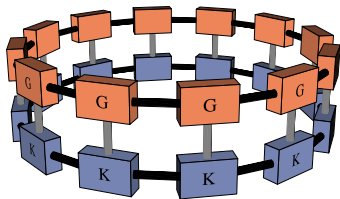
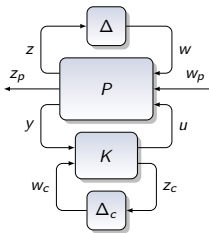
Robust Control



- Modellierung von Unsicherheiten (Parameter, Dynamik)
- Analyse der robusten Stabilität und Güte
- Moderner Reglerentwurf: H_∞ -Synthese
- Mathematische Theorie des H_∞ -Entwurfs

Allgemeines Framework für optimierungsbasierten Reglerentwurf
Inhaltliche Fortsetzung: Linear Matrix Inequalities in Control

LMIs in Control



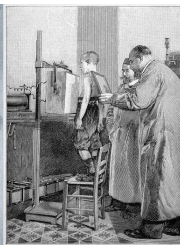
- Semidefinite Programmierung
- Dissipationstheorie dynamischer Systeme
- Reglersynthese: Zentralisiert und strukturiert
- Zeitvariierende und nichtlineare Unsicherheiten
- Relaxationsmethoden für nichtkonvexe Optimierungsprobleme
- Gain-scheduling

Methodische Grundlagen für ein breites thematisches Spektrum der Systemtheorie nahe an der aktuellen Forschung

Vertiefung im Bereich Optimierung und inverse Probleme



www.welt.de



NASA, STScI

Mathematische Methoden der Bildgebung



www.welt.de



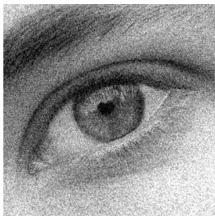
Computertomograph

- Mathematische Modellierung der zugrunde liegenden Effekte
- Analyse der resultierenden Modelloperatoren
- Auflösung und Sampling
- Rekonstruktionsalgorithmen
- Limited-data Probleme

Allgemeines Framework für Bildrekonstruktion

Inhaltliche Fortsetzung: Mathematische Bildverarbeitung

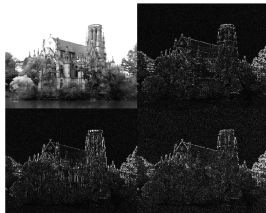
Mathematische Bildverarbeitung



Bredies, Lorenz; Vieweg+Teubner 2011



NASA,STScI



- Klassische Aufgaben der Bildverarbeitung wie Entrauschen, Entfaltung, Bildkompression, etc.
- Grundlagen der Fourieranalysis
- Wavelettransformation und Mehrskalenverfahren
- Variationelle Methoden und konvexe Optimierung

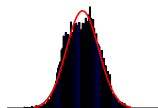
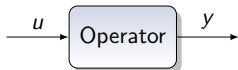
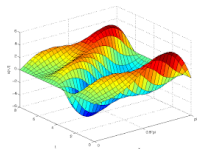
Methodische Grundlagen für ein breites thematisches Spektrum der Optimierung und inversen Probleme nahe an der aktuellen Forschung

Sinnvolle Erweiterungen im Wahl-Kernbereich

Die Optimierung und Systemtheorie zieht essentiellen Nutzen aus zahlreichen weiteren mathematischen Themengebieten.

Empfehlenswert sind folgende Veranstaltungen:

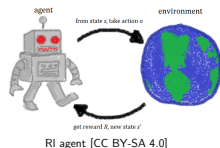
- Spieltheorie & ökonomisches Verhalten
- Modellierung mit DGLs
- Partielle Differentialgleichungen
- Numerische Mathematik 2
- Höhere Analysis
- Funktionalanalysis
- Stochastische Prozesse



Sinnvolle Ergänzungen

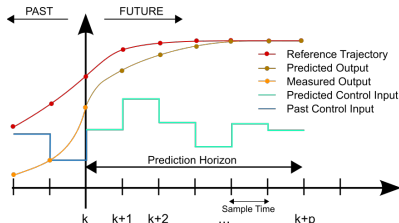
Bachelormodule

- Grundlagen der Künstlichen Intelligenz
- Einführung in die Regelungstechnik für Mathematiker und Verfahrenstechniker



Vorgezogene Mastermodule

- Model Predictive Control
- Nichtlineare Dynamik
- Stochastische Prozesse und Modellierung



Martin Behrendt [CC BY-SA 3.0]

Fortsetzungsmöglichkeiten im Master

Vielfalt von Veranstaltungen über Fakultätsgrenzen hinweg:

Mathematik-Module

- Robust Control
- Linear Matrix Inequalities in Control
- Moderne Methoden d. Optimierung
- Mathematische Bildverarbeitung

Ergänzungsmodule

- Optimal Control
- Nonlinear Control
- Convex Optimization
- Networked Control Systems
- Diskrete Optimierung
- Graphentheorie
- Reinforcement Learning
- Machine Learning

Sinnvolle Erweiterungen

- Stochastische Prozesse II
- Statistische Lerntheorie
- Stochastische DGLs
- Unendlich-Dim. Dyn. Systeme
- Nichtlineare partielle DGLs
- Spektraltheorie
- Funktionalanalysis 2
- Stochastische Analysis
- Comp. Dynamics for Robotics
- Dynamik Nichtglatter Systeme
- Nichtglatte Dynamik
- AM Signal- Information-Processing
- Optimalsteuerung LR

Angebote in kommenden Semestern (Auswahl)

