

Technische Universität Dresden

**Ein Beitrag zur Modellierung und Regelung nichtlinearer
dynamischer Systeme mittels neuronaler Strukturen**

Knut Voigtländer

von der Fakultät Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktoringenieurs

(Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. K. Reinschke

Gutachter: Prof. Dr.techn K. Janschek
Prof. Dr.-Ing. habil. H.-H. Wilfert
Prof. Dr.-Ing. H. Unbehauen

Tag der Einreichung: 31.01.2000

Tag der Verteidigung: 27.10.2000

Danksagung

Die vorgelegte Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Einrichtung für Prozeßsteuerung (EPS), Dresden. Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. H.-H. Wilfert für die Ermöglichung und die wissenschaftliche Begleitung und Förderung der Arbeit.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.techn. K. Janschek für die Übernahme der Betreuung und Begutachtung seitens der TU Dresden, Institut für Automatisierungstechnik. Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Unbehauen bin ich nicht nur wegen der Übernahme eines Gutachtens, sondern auch aufgrund der wertvollen fachlichen Hinweise zu Dank verpflichtet.

Für die Vermittlung der Fähigkeiten und Methoden, die das Entstehen dieser Arbeit ermöglichten, möchte ich mich bei allen Hochschullehrern der TU Dresden, insbesondere bei Herrn HS-Doz. Dr.-Ing. H. Buchta, der mich während meiner Studienzeit fachlich betreute und förderte, bedanken.

Meinen Kollegen und Herrn Dr.-Ing. L. Gröll danke ich für die vielschichtigen fachlichen Diskussionen und Anregungen, die die vorliegende Arbeit entscheidend prägten.

Dresden, im Januar 2000

Knut Voigtländer

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	7
1.1	Motivation und Einordnung in den wissenschaftlichen Erkenntnisstand	7
1.2	Ziele, Gliederung und Arbeitsinhalte	8
2	MODELLIERUNG ZEITKONTINUIERLICHER PROZESSE	15
2.1	Experimentelle Voraussetzungen	16
2.2	Zur betrachteten Prozeßklasse	16
2.3	Signalerfassung und Signalmodelle	17
2.4	Diskretisierung linearer Systeme	20
2.5	Diskretisierung bei VOLTERRA-Modellen	24
2.6	Diskretisierung nichtlinearer Systeme	25
2.7	Zusammenfassung	27
3	DAS STATISCHE APPROXIMATIONS-/REGRESSIONSPROBLEM	29
3.1	Die Aufgabenstellung der Approximation	29
3.2	Strukturansätze für die Nachbildung statischer Zusammenhänge	30
3.3	Parametrierung	33
3.4	Das Problem der Modellkomplexität	34
3.4.1	Strukturselektion	36
3.4.2	Regularisierung	39
3.4.3	Alternative Orthogonalisierungsmethoden	41
4	ANALYSE ZEITDISKRETER DYNAMIKKONZEPTE	45
4.1	Das Konzept der partiellen Rekurrenz (Zustandsmodell)	45
4.1.1	Die Parametrierung des Zustandsmodells	46
4.1.2	Die Stabilität des Zustandsmodells	49
4.1.3	Zusammenfassung	51
4.2	Das Dynamikkonzept der globalen Rekurrenz (Differenzgleichungsmodell)	51
4.2.1	Die Parametrierung des Differenzgleichungsmodells	52
4.2.2	Die Stabilität des Differenzgleichungsmodells	54
4.2.3	Zusammenfassung	54
4.3	Neuronale Netze mit lokaler Dynamik	54
4.3.1	Eigenschaften von Netzen mit lokaler Dynamik	55
4.4	Die Klasse der Filterkettenmodelle	56
4.5	Zusammenfassung	58

5	DAS FILTERMODELL	61
5.1	Approximation mit Filtermodellen	62
5.1.1	Aufgaben des Filtersystems	63
5.1.2	Approximation mit einer Filterkette	64
5.1.3	Approximation mit einer bilinearen Filterstruktur	69
5.2	Identifikation eines Filtermodells	71
5.2.1	Identifikation des Filtersystems	71
5.2.2	Identifikation der nichtlinearen Ausgangsfunktion	78
5.3	Historische Einordnung und Wertung	82
6	EINSATZ DES FILTERMODELLS IN EINEM MODELLGESTÜTZTEN REGLER	85
6.1	Der Regelkreis mit internem Prozeßmodell	85
6.2	Das Stellgesetz	86
6.2.1	Die Festlegung des Regelungszieles	86
6.2.2	Die Invertierung des Modelloperators	88
6.2.3	Die Implementierung des Stellgesetzes	91
6.3	Die Stabilität der Rechtsinversen	94
6.3.1	Die Nulldynamik	95
6.3.2	Kompensation instabiler Nulldynamik	97
6.4	Die Regelung von Mehrgrößensystemen	99
7	ZUSAMMENFASSUNG	103
7.1	Ergebnisse	103
7.2	Ausblick	105
8	LITERATUR	107
9	FORMELZEICHEN UND SYMBOLE	115
10	ANHANG	117