

Dipl.-Ing. Herbert Schütte, Borchten

**Symbolische
Modellierung und
beobachtergestützte
nichtlineare Regelung
eines modularen
elastischen
Robotersystems**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik Nr. **681**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Robotik und Mechatronik	1
1.2 Ziele und Aufbau der Arbeit	2
2 Das modulare Robotersystem <i>tempo</i>	5
2.1 Mechanischer Aufbau und Sensorik	5
2.1.1 Die mechanische Gesamtkonstruktion	5
2.1.2 Konstruktion der Gelenkmodule	6
2.2 Aufbau der digitalen und der analogen Steuerungshardware	9
2.3 Softwaremodule und Schnittstellen der Robotersteuerung	10
2.3.1 Prozessor- und Prozeßtopologie der Steuerung	12
2.3.2 Nutzerschnittstelle der Bahnplanung und der Robotersteuerung	15
2.3.3 Automatische Erzeugung des Reglercodes	20
3 Elemente der Bahnplanung	23
3.1 Direktes und inverses kinematisches Problem	24
3.2 Mathematische Grundlagen für die exakte Berechnung von Splinebahnen	28
3.3 Geschwindigkeitsoptimale kartesische Bahnen	30
3.4 Zusammenfassung	34
4 Symbolische Modellierung von Robotern als hybride Mehrkörpersysteme	36
4.1 Literaturübersicht zur symbolischen Modellierung	38
4.2 Formalismus zur Beschreibung von Mehrkörpersystemen	40
4.2.1 Mehrkörpersysteme mit diskreten Elastizitäten	41
4.2.2 Hybride Mehrkörpersysteme	43
4.2.3 Baumstrukturierte Systeme	46
4.3 Vereinfachungen und Umformungen des mechanischen Modells	47
4.3.1 Operatoralgebra zur Vereinfachung trigonometrischer und kleiner Größen	47
4.3.2 Abkürzungen und Ausklammerungen	53
4.3.3 DSL-Repräsentation eines mechanischen Systems	56
4.4 Beschreibung des Robotermodells <i>tempo</i>	62
4.4.1 Physikalisches Ersatzsystem	63
4.4.2 Ergänzungen des MKS	66
5 Identifikation physikalischer Modellparameter	70
5.1 Statische Identifikation	72
5.1.1 Identifikation der nichtlinearen Getriebesteifigkeit	72
5.1.2 Coulombsche und viskose Reibung	74
5.1.3 Vermessung der Arm- und Lagerverformungen	76
5.2 Identifikation im Frequenzbereich	78
5.2.1 Identifikation am Einzelgelenk	78
5.2.2 Bemerkungen zu den Messungen und zur Meßdatenaufbereitung	79
5.2.3 Optimierungskriterium und Nutzerschnittstelle	80
5.2.4 Ergebnisse der Frequenzgangsidentifikation am Gesamtroboter	82

6 Bahnregelung	86
6.1 Diskussion des Regelungsproblems und Ziele der Regelung	88
6.2 Symbolverarbeitung beim Reglerentwurf	92
6.3 Lineare und nichtlineare Gelenkregelung	98
6.3.1 Regelkonzept I	99
6.3.2 Regelkonzept II	104
6.4 Bemerkungen zur Auslegung und zur Wirkungsweise der Regelungen	110
6.5 Messungen am geregelten Roboter	111
6.5.1 Messungen an einzelnen Roboterachsen	111
6.5.2 Messungen an verkoppelten Roboterachsen	116
7 Zusammenfassung und Ausblick	118
8 Anhang	120
8.1 Anhang zum Kapitel 2	120
8.1.1 Hauptabmessungen des Robotersystems <i>tempo</i>	120
8.1.2 Parameter des Robotersystems <i>tempo</i>	120
8.1.2.1 Getriebedaten	120
8.1.2.2 Motordaten	121
8.1.2.3 Verstärkerdaten	121
8.2 Anhang zum Kapitel 3	122
8.3 Anhang zum Kapitel 4	127
8.4 Anhang zum Kapitel 5	128
8.5 Anhang zum Kapitel 6	131
9 Literatur	147