

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
I	Modellierung	4
2	Mathematische Grundlagen	5
2.1	Roboterkinematik	6
2.1.1	Bezeichnungen	8
2.1.2	Position und Orientierung	10
2.1.3	Geschwindigkeiten	14
2.1.4	Beispiel anhand eines zweigliedrigen Systems	15
2.2	Roboterdynamik	16
2.2.1	Potentielle Energie infolge der Gelenkelastizität	17
2.2.2	Potentielle Energie infolge der Gewichtskraft	18
2.2.3	Kinetische Energie	18
3	Algorithmus zur Erzeugung der Bewegungsgleichungen	23
3.1	Literaturübersicht	24
3.1.1	Numerisch-Symbolische Algorithmen	25
3.2	Rekursive kinematische Gleichungen	27
3.3	Rekursive dynamische Gleichungen	34
3.3.1	Algorithmus für die Roboterdynamik	36
3.3.2	Vorwärtsiteration in Gelenkkoordinaten	40
3.3.3	Rückwärtsiteration in Gelenkkoordinaten	40
3.3.4	Bemerkungen zum Formalismus	42
4	Dynamik der Antriebe	44
4.1	Modell der elektrischen Antriebe	44
4.2	Modellierung der Coulomb-Reibung und Lose	47
4.2.1	Modell der Haftreibung	48
4.2.2	Wirkungen der Lose	50
4.2.3	Modell der Gleitreibung	51
4.3	Kompensation der Coulomb-Reibung und Lose	53

II	Regelung	60
5	Exakte Linearisierung und Regelung	61
5.1	Problemstellung und Standardprozedur	62
5.1.1	Systeme mit Nulldynamik	69
5.2	Exakte Linearisierung der Industrieroboter	71
5.2.1	Reglerentwurf mit vollständigem Robotermodell	72
5.2.2	Reglerentwurf mit vereinfachtem Robotermodell	75
5.2.3	Kaskadenkompensation und -regelung	77
5.2.4	Lineare Folgeregelung	80
5.2.5	Zustandsschätzung	83
6	Programmpaket zu Robotersimulation und -regelung	89
6.1	Modellierungsmodule	89
6.2	Regelungs- und Simulationsmodule	91
7	Simulations- und Animationsaufgaben	96
7.1	Beschreibung des Robotersystems Puma 560	96
7.2	Simulationsaufgabe	100
7.2.1	Inverse Kinematik	102
7.2.2	Bahnplanung	104
7.3	Simulationsergebnisse	106
7.4	Animation	108
7.4.1	Interaktive on-line-Animation	109
8	Zusammenfassung und Ausblick	111
A	Inverse Kinematik	113
B	Simulationsergebnisse	116
B.1	Exakte Linearisierung eines Starrkörperroboters	116
B.2	Exakte Linearisierung eines Roboters mit Gelenkelastizitäten	120
	Literaturverzeichnis	122