

Inhaltsverzeichnis

Liste der verwendeten Formelzeichen

VIII

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Literaturübersicht	2
1.3	Ziel und Inhalt der Arbeit	6
1.4	Anmerkungen zur Schreibweise	8
2	Grundlagen	9
2.1	Kinetostatische Methode	9
2.1.1	Übertragungsfunktionen	10
2.1.2	Allgemeines Gelenk mit sechs Freiheitsgraden	11
2.1.3	Lösung kinematischer Schleifen	12
2.1.4	Modularität	13
2.1.5	Kinematische Differentiale	13
2.1.6	Dynamik	15
2.1.7	Implementierung	15
2.2	Parallele Roboter	15
2.2.1	Klassifikation	16
2.2.2	Topologische Analyse	17
2.2.3	Kinematik und Geometrie der Beine	19
2.2.4	Inverse Kinematik	22
2.2.5	Direkte Kinematik	23
2.2.6	Differentielle Kinematik und JACOBI-Matrix	24
2.2.7	Arbeitsraum	24
2.2.8	Parametrisierung der Rotation	25
2.2.9	Vereinfachte symmetrische Gough-Plattform	27
2.2.10	Stabkinematik Linapod	28
2.3	Intervallanalyse	30
2.3.1	Intervallauswertung einer Funktion	31
2.3.2	Überschätzung	31

3 Diskrete Arbeitsraumanalyse 34

3.1	Einführung	34
3.2	Modulares kinetostatisches Modell	35
3.2.1	Module und Schnittstellen	36
3.2.2	Inverse Kinematik	39
3.2.3	Direkte Kinematik	39
3.3	Linearisierung	40
3.3.1	Interpretation der Linearisierung durch virtuelle Gelenke	44
3.3.2	Optimaler Punkt des End-Effektors	45
3.4	Fehler- und Sensitivitätsanalyse	48
3.5	Steifigkeit	51
3.6	Kalibrierung	52
3.7	Ergebnisse	53
3.7.1	Generische Kinematik	53
3.7.2	Modulares Modell	55
3.7.3	Sensitivitätsanalyse	56
3.7.4	Steifigkeitsanalyse	61
3.8	Zusammenfassung	62

4 Kontinuierliche Arbeitsraumanalyse 64

4.1	Einleitung	64
4.2	Lösung des Constraint Satisfaction Problems	65
4.2.1	Generischer Algorithmus	66
4.2.2	Verifikationsverfahren	67
4.2.3	Berechnungsverfahren	68
4.2.4	Hybrides Verfahren	69
4.2.5	Teilen von Boxen	70
4.3	Effizienzsteigerung der Algorithmen	71
4.3.1	Separation der Verifikationsmenge	71
4.3.2	Abhängigkeiten zwischen Bindungen	72
4.3.3	Heuristiken zur Verbesserung der Laufzeit	72
4.3.4	Verwendung des Gradienten	75
4.3.5	Nachträgliches Zusammenfassen von Boxen	76
4.3.6	Parallele Implementierung	76
4.4	Prozessbedingte Anforderungen als Bindungen	79
4.4.1	Kinematisch erreichbarer Arbeitsraum der Beine	80
4.4.2	Konvexität des Arbeitsraums	81
4.4.3	Singularitäten	82

4.4.4	Manipulierbarer Arbeitsraum	83
4.4.5	Stabkollisionen	85
4.4.6	Passive Gelenke	86
4.4.7	Automatische Codegenerierung	87
4.5	Ergebnisse	88
4.5.1	Linapod	88
4.5.2	Gough-Plattform	91
4.5.3	Parallelisierung des CSP-Lösers	93
5	Maßsynthese	98
5.1	Einführung	98
5.2	Maßsynthese als Constraint Satisfaction Problem	100
5.2.1	Bindungen für die Maßsynthese	101
5.2.2	Parameterrelationen für PKM	102
5.3	Globale Optimierung	104
5.3.1	Freie globale Optimierung	104
5.3.2	Globale Optimierung mit Nebenbedingungen	106
5.3.3	Konsistenztest für die Zielfunktion	106
5.3.4	Verwendung des Gradienten der Zielfunktion	107
5.3.5	Zielfunktion	107
5.4	Synthese abhängiger technologischer Parameter	108
5.5	Objektorientiertes Programmgerüst	108
5.5.1	Objektorientierte Analyse	109
5.5.2	Übersicht über mögliche Konfigurationen	112
5.6	Ergebnisse	113
5.6.1	Maßsynthese und Optimierung einer Gough-Plattform	113
5.6.2	Maßsynthese und Optimierung des <i>Linapod</i>	114
6	Zusammenfassung und Ausblick	117
	Literaturverzeichnis	119