

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	3
1.2	Literaturüberblick . . . . .	6
1.3	Ziele und Gliederung der Arbeit . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>11</b>
2.1	Die Denavit-Hartenberg Notation . . . . .	11
2.2	Duale $(3 \times 3)$ -Matrizen und Quaternionen . . . . .	18
2.3	Der Paul'sche Ansatz zur Lösung des IKP . . . . .	19
2.4	Erkennung global degenerierter Roboter . . . . .	21
2.5	Vereinfachung der Gelenktabelle . . . . .	25
2.6	Spiegelung von Robotergeometrien . . . . .	32
2.7	Festlegung der Systemeingabe . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Roboter mit einer ebenen Gelenkgruppe</b>	<b>35</b>
3.1	Ebene Gelenkgruppen in Heiß'schen Klassen . . . . .	37
3.2	Herleitung der Ansatzgleichungen . . . . .	40
3.3	Berechnung der Lösung im allgemeinen Fall . . . . .	46
3.4	Sonderfälle quadratischer Lösbarkeit . . . . .	48

3.5 Lösung der verbleibenden Gelenkvariablen . . . . .	62
3.6 Ergebnisse . . . . .	66
<b>4 Konzepte</b>	<b>68</b>
4.1 Systemschale und Systemkern . . . . .	69
4.2 Funktionsweise des Systemkerns . . . . .	72
4.3 Konzepte anderer Invertierungssysteme . . . . .	82
<b>5 Prototypgleichungen</b>	<b>85</b>
5.1 Neu entwickelte Prototypgleichungen . . . . .	85
5.2 Prototypen für ein Invertierungssystem . . . . .	98
<b>6 Implementierung</b>	<b>105</b>
6.1 Auswahl von Prolog . . . . .	106
6.2 Interne Repräsentation von Gleichungen . . . . .	111
6.3 Gleichungsmerkmale . . . . .	114
6.4 Suche nach lösbaren Gleichungen . . . . .	118
6.5 Extraktion der Gleichungsparameter . . . . .	126
6.6 Ein- und Ausgaben des Programms SKIP . . . . .	129
<b>7 Leistungsbetrachtung</b>	<b>132</b>
7.1 Implementierungsstand der Testversion . . . . .	133
7.2 Geometrien aus Heiß'schen Klassen . . . . .	134
7.3 Orthogonale Geometrien aus Klasse 3 und 9 . . . . .	137
7.4 Drei sich schneidende Rotationsachsen . . . . .	138
7.5 Spezialfälle aus den Klassen 2 und 5 . . . . .	140

7.6 Geometrien mit einer ebenen Gelenkgruppe . . . . .	141
7.7 Exemplarische Betrachtung der Lösungsgüte . . . . .	142
7.8 Zusammenfassende Bewertung . . . . .	145
<b>8 Anwendungen</b>	<b>147</b>
8.1 Invertierung redundanter Roboter . . . . .	147
8.2 Integration in ein Robotersimulationssystem . . . . .	152
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>160</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>165</b>
<b>A Ergänzung der Grundlagen</b>	<b>172</b>
A.1 Invertierung einer SCARA-Geometrie . . . . .	172
A.2 Determinante und globale Degeneration . . . . .	176
A.3 Spiegelung einer Robotergeometrie . . . . .	178
<b>B Gleichungsmaterial Kapitel 3</b>	<b>180</b>
B.1 Fall 1 . . . . .	180
B.2 Fall 2.1 . . . . .	182
B.3 Fall 2.2 . . . . .	183
<b>C Prototypgleichungen</b>	<b>184</b>
C.1 Aus der Literatur bekannte Prototypen . . . . .	184
C.2 Ableitung der Prototypen 15, 16 und 17 . . . . .	191
<b>D Protokolle</b>	<b>202</b>
D.1 Gleichungssatz für die Stanford-Geometrie . . . . .	203

D.2 6-achsige SCARA-Geometrie . . . . .	209
D.3 8-achsige redundante Geometrie . . . . .	221
<b>E Protokolle zur Leistungsbewertung</b>	<b>229</b>
E.1 Geometrien aus Heiß'schen Klassen . . . . .	229
E.2 Lösungen über Prototyp 18 . . . . .	240
E.3 Geometrien mit einer ebenen Gelenkgruppe . . . . .	243
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>251</b>