

Inhalt

Vorwort	V
1 Einführung in die Robotik	1
1.1 Historie	1
1.2 Definition und Klassifikation	5
1.2.1 Roboter	5
1.2.2 Robotik als Wissenschaft	7
1.3 Industrieroboter	8
1.3.1 Mechanischer Aufbau	9
1.3.2 Komponenten eines Robotersystems	17
1.3.3 Steuerung und Systemsoftware	19
1.3.4 Anwendungsprogrammierung und Bedienung	21
1.4 Andere Roboterklassen	24
1.4.1 Serviceroboter und mobile Roboter	24
1.4.2 Mikroroboter	26
1.4.3 Humanoide und kognitive Roboter	27
1.5 Datenfluss in einem Robotersystem	29
1.6 Zusammenfassung	31
2 Grundlagen der Robotermathematik	33
2.1 Formale Modelle	33
2.2 Punkt, Gerade, Ebene	35
2.2.1 Punkt und Koordinaten	35
2.2.2 Vektoren	36
2.2.3 Gerade in Ebene und Raum	37
2.2.4 Schnittpunkt zweier Geraden	39
2.2.5 Ebene im Raum	40
2.2.6 Schnittgerade zweier Ebenen	40

2.3	Trigonometrische Funktionen	41
2.3.1	Gradmaß, Bogenmaß, Einheitskreis	41
2.3.2	Inverse trigonometrische Funktionen	42
2.3.3	Winkel in einem allgemeinen Dreieck, Kosinussatz	43
2.4	Lineare Algebra	43
2.4.1	Vektoren und Matrizen	43
2.4.2	Lineare Gleichungssysteme	47
2.4.3	Lineare Abbildung	51
2.4.4	Darstellung der Orientierung durch Eulerwinkel	58
2.5	Polynome	63
2.6	Differentielle Zusammenhänge	64
2.6.1	Ableitung von Funktionen	64
2.6.2	Berechnung der Jacobimatrix	65
2.7	Zusammenfassung	67
2.8	Aufgaben	68
3	Programmieren mit MATLAB	73
3.1	Erste Schritte	73
3.1.1	Was ist MATLAB?	73
3.1.2	Bedienoberfläche	75
3.1.3	Variablen in MATLAB	78
3.1.4	Arithmetische Operationen	84
3.1.5	Behandlung von Zeichenketten	87
3.1.6	Programmstrukturen	90
3.1.7	Ein-/Ausgabe und Dateioperationen	97
3.1.8	Grafik	99
3.2	Unterstützung der Robotermathematik	101
3.2.1	Schnitt, Abstand von Ebene und Gerade	101
3.2.2	Winkelberechnung	105
3.2.3	Koordinatentransformationen	106
3.2.4	Inverse Eulertransformation	108
3.2.5	Synthese von Polynomen	109
3.2.6	Berechnung der Jacobimatrix	111
3.2.7	Funktionsbibliothek ROBOMATS	112
3.3	MATLAB als technische Programmiersprache	115
3.3.1	Besondere Eigenschaften	115
3.3.2	Softwareentwurf	117
3.4	Zusammenfassung	121
3.5	Aufgaben	122

4	Modellierung der kinematischen Struktur	127
4.1	Einführung	127
4.1.1	Freiheitsgrad und kinematische Kette	127
4.1.2	Geeignetes Robotermodell	129
4.2	Kinematikmodell nach Denavit-Hartenberg	130
4.2.1	Konzept	130
4.2.2	Kinematische Strukturen in der Praxis	133
4.3	Programm zur Berechnung der DH-Parameter	138
4.3.1	Softwareentwicklung	138
4.3.2	Implementierung und Test	140
4.4	Transformationen zwischen Roboter- und Weltkoordinaten	144
4.4.1	Vorüberlegungen	144
4.4.2	Vorwärtstransformation	146
4.4.3	Rücktransformation	148
4.5	Zusammenfassung	164
4.6	Aufgaben	165
5	Entwurf von Bahnsteuerungen	169
5.1	Prinzipien	169
5.1.1	Einbindung der Bahnsteuerung in den Datenfluss	169
5.1.2	Verfahrarten	171
5.2	Bahnplanung	173
5.2.1	Trajektorie	173
5.2.2	Geschwindigkeitsprofil	180
5.2.3	Synchronisation und Anpassung an den Interpolationstakt	185
5.3	Interpolation	186
5.3.1	Echtzeitanforderungen	186
5.3.2	Interpolationsvektor und Geschwindigkeitsprofil	187
5.3.3	Trajektorie	188
5.4	Programmierung	190
5.4.1	Umsetzung des Bewegungsmodells	190
5.4.2	Modellzustand und Modellparameter	193
5.4.3	Globale Modellfunktionen	194
5.4.4	Hilfsfunktionen	203
5.5	Test und Visualisierung	205
5.5.1	Testanwendung	205
5.5.2	Visualisierung und Auswertung	207

5.6	Zusammenfassung	209
5.7	Aufgaben	211
6	Programmieren im Großen	215
6.1	Geeignete Softwarekonzepte	216
6.1.1	Allgemeine Anforderungen	216
6.1.2	Unterstützung durch MATLAB	217
6.2	Komponentenorientierte Programmierung in MATLAB	220
6.2.1	Konzept	220
6.2.2	Programmierung	224
6.3	Integration der Serverkomponente Echtzeitinterpolator	230
6.3.1	Systemarchitektur	230
6.3.2	Funktionsumfang des Echtzeitinterpolators	232
6.3.3	Exportierte Methoden und Ereignisse	234
6.3.4	Programmierung der Client-Schnittstelle	235
6.3.5	Programmierung der Server-Schnittstelle und Registrierung	237
6.4	Realisierung eines Robotersimulators mit Grafikmodell	239
6.4.1	Beschreibung des Grafikmodells	239
6.4.2	Initialisierung und Ausführung der Gesamtsoftware ...	240
6.5	Zusammenfassung	241
6.6	Aufgaben	243
7	Anwendungen	245
7.1	Grundsätze	245
7.2	Beispiele	247
7.2.1	Palettieren	248
7.2.2	Bearbeiten Langloch	253
7.3	Zusammenfassung	258
7.4	Aufgaben	259
8	Fehlerbehandlung und Optimierung	261
8.1	Fehler im Programmcode	261
8.1.1	Syntax- und Laufzeitfehler	261
8.1.2	Debugger	262
8.2	Behandlung externer Fehler	266
8.2.1	Ausgabe von Meldungen	267

8.2.2	Überprüfung fehlerhafter Daten	267
8.2.3	Try-Catch-Konstrukt	268
8.3	Programmoptimierung	269
8.3.1	Rechenzeit	270
8.3.2	Programmstruktur und Quellcode	273
8.4	Beispiel – Verbesserung der Bahnsteuerung	277
8.4.1	Codeanalyse	277
8.4.2	Fehlerüberwachung	278
8.4.3	Optimierung der Rechenzeit	279
8.5	Zusammenfassung	279
8.6	Aufgaben	281
9	Literaturverzeichnis	283
	Index	285