

Inhaltsverzeichnis

Vorwort IX

Danksagung XIII

1	Einführung 1
1.1	Mehrkörpersimulation 2
1.2	Bewegungen und Zwangsbedingungen 4
1.3	Freiheitsgrade 7
1.4	Kinematische Analyse 10
1.5	Kraftanalyse 13
1.6	Dynamische Gleichungen und ihre unterschiedlichen Formen 14
1.7	Direkte und inverse Dynamik 16
1.8	Ebene und räumliche Dynamik 18
1.9	Computermethoden und numerische Verfahren 20
1.10	Aufbau, Ziel und Schreibweisen dieses Buches 22
2	Lineare Algebra 25
2.1	Matrizen 26
2.2	Matrizenoperationen 28
2.3	Vektoren 38
2.4	Dreidimensionale Vektoren 48
2.5	Lösung algebraischer Gleichungssysteme 55
2.6	Dreiecksfaktorisierung 63
2.7	Die QR-Zerlegung 68
2.8	Singulärwertzerlegung 84
3	Kinematik 97
3.1	Kinematik starrer Körper 98
3.2	Geschwindigkeitsgleichungen 102
3.3	Beschleunigungsgleichungen 104
3.4	Kinematik eines sich auf einem starren Körper bewegenden Punkts 105
3.5	Kinematik mit Zwangsbedingungen 107

3.6	Der klassische kinematische Ansatz	115
3.7	Der rechnergestützte kinematische Ansatz	137
3.8	Formulierung der Antriebsbindungen	140
3.9	Formulierung von Gelenkbindungen	142
3.10	Computermethoden in der Kinematik	155
3.11	Umsetzung auf dem Computer	164
3.12	Kinematische Modellierung und Analyse	176
3.13	Schlussbemerkungen	184
4	Formen der dynamischen Gleichungen	193
4.1	Das d'Alembert'sche Prinzip	194
4.2	Das d'Alembert'sche Prinzip und die Newton-Euler-Gleichungen	199
4.3	Gebundene Dynamik	202
4.4	Erweiterte Formulierung	206
4.5	Lagrange-Multiplikatoren	208
4.6	Eliminierung der abhängigen Beschleunigungen	210
4.7	Einbettungsverfahren	213
4.8	Vereinigte Formulierung	215
4.9	Systeme mit offenen kinematischen Ketten	216
4.10	Systeme mit geschlossenen kinematischen Ketten	222
4.11	Schlussbemerkungen	229
5	Virtuelle Arbeit und Lagrange-Dynamik	231
5.1	Virtuelle Verrückungen	231
5.2	Kinematische Bindungen und Separation der Koordinaten	235
5.3	Virtuelle Arbeit	246
5.4	Beispiele für Kraftelemente	253
5.5	Ideale Bindungen	268
5.6	Das Prinzip der virtuellen Arbeit in der Statik	270
5.7	Das Prinzip der virtuellen Arbeit in der Dynamik	279
5.8	Die Lagrange-Gleichung	285
5.9	Gibbs-Appell-Gleichung	290
5.10	Die Hamilton-Formulierung	290
5.11	Der Zusammenhang zwischen der virtuellen Arbeit und dem Gauß'schen Eliminationsverfahren	297
6	Gebundene Dynamik	307
6.1	Verallgemeinerte Trägheit	308
6.2	Massenmatrix und Zentrifugalkräfte	313
6.3	Bewegungsgleichungen	319
6.4	System von starren Körpern	321
6.5	Eliminierung der Bindungskräfte	326
6.6	Lagrange-Multiplikatoren	336
6.7	Dynamische Bindungsgleichungen	344
6.8	Gelenkreaktionskräfte	352

6.9	Eliminierung der Lagrange-Multiplikatoren	355
6.10	Zustandsraumdarstellung	358
6.11	Numerische Integration	362
6.12	Implementierung von Algorithmen und dünn besetzten Matrizen	371
6.13	Differential- und algebraische Gleichungen	375
6.14	Inverse Dynamik	382
6.15	Statische Analyse	385
7	Räumliche Dynamik	393
7.1	Allgemeine Verschiebung	394
7.2	Endliche Rotation	395
7.3	Euler-Winkel	404
7.4	Geschwindigkeit und Beschleunigung	406
7.5	Verallgemeinerte Koordinaten	412
7.6	Verallgemeinerte Trägheitskräfte	416
7.7	Verallgemeinerte wirkende Kräfte	430
7.8	Dynamische Bewegungsgleichungen	438
7.9	Gebundene Dynamik	443
7.10	Formulierung der Gelenkbindungen	446
7.11	Newton-Euler-Gleichungen	456
7.12	Das d'Alembert'sche Prinzip	458
7.13	Linearer Impuls und Drehimpuls	459
7.14	Rekursive Verfahren	462
8	Spezielle Themen aus der Dynamik	489
8.1	Kreisel und Euler-Winkel	489
8.2	Rodriguez-Formel	494
8.3	Euler-Parameter	498
8.4	Rodriguez-Parameter	502
8.5	Quaternionen	504
8.6	Kontakt zwischen Körpern	508
8.7	Stabilität und Eigenwertuntersuchungen	514
9	Computercodes für Mehrkörpersysteme	521
9.1	Einführung in SAMS/2000	522
9.2	Codestruktur	525
9.3	Systemerkennung und Datenstruktur	527
9.4	Installation des Codes und theoretischer Hintergrund	529
9.5	Einrichtung von SAMS/2000	531
9.6	Anwendung des Codes	533
9.7	Körperdaten	535
9.8	Bindungsdaten	542
9.9	Durchführung der Simulationen	545
9.10	Stapelverarbeitung	548

9.11	Steuerung der Grafik	551
9.12	Möglichkeiten der Animation	554
9.13	Allgemeine Verwendung der Dateneingabemasken	554
9.14	Räumliche Analyse	558
9.15	Spezielle Module und Merkmale des Programms	561

Literatur 569

Sachverzeichnis 573