

Dipl.-Ing. Ulrich Lefarth, Asperg

# **SIMEX - eine offene Simulationsumgebung zum rechnergestützten Entwurf mechatronischer Systeme**

Reihe **20**: Rechnerunterstützte  
Verfahren

Nr. **223**

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation .....	1
1.2 Ziele und Aufbau der Arbeit .....	4
2 Stand der Technik und Wissenschaft .....	7
2.1 Allgemeine Definitionen .....	7
2.2 Der rechnergestützte Entwurf mechatronischer Systeme .....	10
2.3 Analyse existierender Simulationswerkzeuge .....	12
2.4 Die Entwurfsumgebung <i>CAMeL</i> .....	17
2.5 Die Systembeschreibungssprache <i>DSL</i> .....	18
3 Gesamtkonzeption einer offenen Simulationsumgebung .....	23
3.1 Strukturierung der Simulationsumgebung .....	24
3.2 Prozeßorientierte Modularisierung .....	26
3.3 Interprozeßkommunikation .....	29
3.3.1 Anforderungen .....	29
3.3.2 Diskussion möglicher Kommunikationskonzepte .....	30
3.4 Kooperation der Prozesse .....	32
3.4.1 Anforderungen .....	32
3.4.2 Prozeßarchitektur der Simulationsumgebung .....	33
3.5 Durchführung von Simulationsexperimenten .....	34
3.5.1 Anforderungen .....	34
3.5.2 Experimentbeschreibungssprache .....	35
4 Konzeption des Simulationsprozesses .....	37
4.1 Klassifikation der Einsatzfelder .....	37
4.2 Spezifikation des Leistungsumfangs .....	41
4.3 Numerische Modellauswertung .....	43
4.3.1 Integrationsverfahren .....	45
4.3.2 Behandlung von Diskontinuitäten .....	49
4.4 Bedienung und Schnittstellen .....	52
4.5 Modifizier- und Erweiterbarkeit .....	57
5 Konzeption des Bedien- und des Visualisierungsprozesses .....	59
5.1 Gestaltung der Benutzungsoberfläche .....	59
5.2 Werkzeuge zur Erstellung der Benutzungsoberfläche .....	62
5.3 Interaktions-, Auswahl- und Eingabetechniken .....	66
5.4 Leistungsumfang des Bedienprozesses .....	70
5.4.1 Interaktive, grafikorientierte Experimentierumgebung .....	70
5.4.2 Reproduktion interaktiver Simulationsexperimente .....	73
5.4.3 Modifizier- und Erweiterbarkeit .....	74
5.5 Leistungsumfang des Visualisierungsprozesses .....	76
5.5.1 Darstellung und Verwaltung der Daten .....	76
5.5.2 Bedienung und Schnittstellen .....	78
6 Realisierung des Simulationsprozesses .....	79
6.1 Implementierungssprache .....	79
6.2 Numerische Modellauswertung .....	80
6.2.1 Interpretierende Modellauswertung .....	80
6.2.2 Behandlung von Diskontinuitäten .....	81
6.2.3 Integrationsverfahren .....	86
6.3 Bedienung und Schnittstellen .....	88
6.3.1 Eingabemöglichkeiten .....	88
6.3.2 Ausgabemöglichkeiten .....	89

7 Realisierung des Bedien- und des Visualisierungsprozesses .....	91
7.1 Eingesetzte Werkzeuge .....	91
7.2 Realisierung des Bedienprozesses .....	94
7.2.1 Oberflächengestaltung .....	95
7.2.2 Protokollier- und Reproduktionsmechanismen .....	97
7.2.3 Modifizier- und Erweiterbarkeit .....	101
7.3 Realisierung des Visualisierungsprozesses .....	103
8 Realisierung der Simulationsumgebung <i>SIMEX</i> .....	105
8.1 Prozeß- und Kommunikationsstruktur .....	105
8.2 Interaktionsmöglichkeiten .....	106
8.3 Experimentbeschreibungssprache .....	107
8.4 Formulierung höherwertiger Experimente .....	110
8.4.1 Systematische Durchführung von Parameterstudien .....	110
8.4.2 Systematische Variation der Modellanregung .....	113
8.4.3 Systematische Variation des Lösungsverfahrens .....	114
9 Anwendungsbeispiele .....	115
9.1 Einsatz der Simulationsumgebung <i>SIMEX</i> .....	115
9.1.1 Impact-Matrixdruckkopf .....	115
9.1.2 Geregelter, elastischer Knickarmroboter .....	119
9.1.3 Aktive Fahrzeugfederung .....	122
9.2 Erweiterung der Simulationsumgebung <i>SIMEX</i> .....	125
9.2.1 Simulatorkopplung .....	125
9.2.2 Erweiterung um eine Online-3D-Animation .....	130
10 Zusammenfassung und Ausblick .....	133
11 Anhang .....	135
11.1 Integrationsverfahren .....	135
11.2 Syntax der Oberflächenbeschreibung .....	138
11.2.1 Xmt-Syntax der statischen Oberflächenbeschreibung .....	138
11.2.2 Xtm/Tcl-Syntax der Callback-Formulierung .....	141
11.3 Experimentbeschreibungssprache .....	142
11.3.1 Prozeßverwaltung .....	142
11.3.2 Kontrollstrukturen .....	145
11.3.3 Simulationsspezifischer Sprachumfang .....	146
12 Literatur .....	151