

Joachim Fischer  
Klaus Ahrens

# Objektorientierte Prozeßsimulation in C++

SUB Göttingen 7  
204 938 880



96 A 24564



**ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY**

---

Bonn · Reading, Massachusetts · Menlo Park, California · New York  
Don Mills, Ontario · Harlow, England · Amsterdam · Milan · Sydney  
Tokyo · Singapore · Madrid · San Juan · Seoul · Mexico City · Taipei, Taiwan

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Grundlagen der Simulation

1	Systeme, Modelle, Modellbildung, Simulation: Ein Überblick .....	15
1.1	Allgemeines Anliegen von Systemanalyse, Modellbildung und Computersimulation .....	15
1.2	Computersimulation als Problemlösungsprozeß .....	26
1.3	Anwendungsaspekte der Computersimulation .....	28
1.4	Objektorientierte Modellbildung .....	30
1.4.1	Begriffsbildungen .....	30
1.4.2	Konzepte der Modellbildung .....	31
1.4.3	Strukturgetreue Modellierung .....	37
1.4.4	Objektorientierte Modellierung .....	43
1.4.5	Systemorientierte und objektorientierte Modellierung .....	53
1.5	Ein Beispiel: Simulation einer Tankerflotte .....	53
2	Mathematische Beschreibung von Modellen .....	59
2.1	Ereignismodelle .....	59
2.1.1	Ereigniskonzept .....	59
2.1.2	Rolle von Wahrscheinlichkeit und mathematischer Statistik bei der Modellierung dynamischer Systeme .....	61
2.2	Differential- und Differenzgleichungen .....	74
2.2.1	Klassifikation und Lösung .....	74
2.2.2	Typen von Differentialgleichungen .....	75
2.2.3	Systeme von Differentialgleichungen .....	77
2.2.4	Lösungen .....	77
2.2.5	Stabile Lösungen .....	78
2.2.6	Differenzgleichungen .....	80
2.2.7	Zustandsraumanalyse und Stabilität .....	82
3	Grundlegende Simulationstechniken .....	93
3.1	Numerische Integration .....	93
3.2	Die Simulation von Zufall .....	97
3.2.1	Erzeugung von [0,1]-Zufallszahlen der Gleichverteilung .....	98
3.2.2	Zufallszahlengenerierung anderer Verteilungen .....	99
3.3	Methoden der diskreten Ereignissimulation .....	102

3.3.1 Ereignis- <i>scheduling</i> -Methode. ....	104
3.3.2 Prozeßorientierte <i>scheduling</i> -Methode. ....	110
3.4 Analyse von Ausgabedaten. ....	112
3.4.1 Mittelwert, Standardabweichung, Streuung . . . . .	112
3.4.2 Analyse von Zusammenhängen. ....	113

## Teil II C++ als Modellierungssprache

4 Objektorientierte Modellierung mit C++. ....	119
4.1 Entwicklung der Sprache C++ . . . . .	120
4.2 Objektorientierte Programmierung in C++ . . . . .	123
4.2.1 Klassen und Objekte . . . . .	124
4.2.2 Vererbung . . . . .	160
4.2.3 Dynamische Typerkennung . . . . .	179
4.3 Ein portables Koroutinenkonzept für C++ . . . . .	185
4.3.1 Motivation und Vorarbeiten. . . . .	185
4.3.2 Implementierungsdetails. . . . .	187
5 Die C++-Basisprozeßbibliothek <i>process</i> . . . . .	197
5.1 Aufbau hierarchischer Bibliotheken . . . . .	197
5.2 Prozesse der Prozeßbibliothek . . . . .	199
5.2.1 Das <i>scheduling</i> -Verfahren im Überblick. . . . .	199
5.2.2 Die Klasse <i>Process</i> . . . . .	201
5.2.3 <i>Scheduling</i> -Funktionen von <i>Process</i> . . . . .	205
5.3 Prozeßverkettung und Synchronisation . . . . .	210
5.3.1 Das Memo-Verkettungsprinzip . . . . .	210
5.3.2 Kaskadierung von Prozessen . . . . .	212
5.3.3 Kommunikationspuffer. . . . .	213
5.4 Modellzeit und Timer . . . . .	217
5.5 Allgemeine Synchronisation von Prozessen. . . . .	219
5.6 Verwendung statischer Prozeßobjekte . . . . .	220

## Teil III Zeitdiskrete Simulation

6 Die Klassenbibliothek <i>statistics</i> . . . . .	223
6.1 Beobachtung und Kennwertbestimmung von Modellvariablen. . . . .	225

6.2	Erzeugung von Pseudozufallszahlen .....	229
6.2.1	Zufallsgrößen diskreter Verteilungen .....	231
6.2.2	Zufallsgrößen stetiger Verteilungen .....	231
6.3	Beispiele .....	232
6.3.1	Anwendung der Normalverteilung .....	232
6.3.2	Implementierung eines Generators zur Dreiecksverteilung .....	234
7	Zeitdiskrete Simulation mit <i>odem</i> .....	237
7.1	Einführung .....	237
7.2	<i>odem</i> -Prozesse .....	238
7.2.1	Prozeßverwaltung .....	240
7.2.2	Freispeicherverwaltung für dynamische Objekte .....	245
7.3	Prozeßwarteschlangen .....	246
7.4	Geteilte Nutzung von Ressourcen .....	247
7.4.1	Die Klasse <i>Res</i> .....	249
7.4.2	Die Klasse <i>Bin</i> .....	255
7.4.3	Die Klasse <i>Waitq</i> .....	260
7.4.4	Die Klasse <i>Condq</i> .....	266
7.5	Zyklische Generierung von Prozessen .....	272
7.6	Initialisierung und Endebehandlung in <i>odem</i> .....	273
7.6.1	Initialisierung .....	273
7.6.2	Endebehandlung .....	274
7.7	Allgemeine <i>Trace</i> -, <i>Report</i> - und <i>List</i> - Möglichkeiten .....	274
7.8	Anwendungsbeispiele .....	275
7.8.1	Transportproblem (Anwendung von <i>Condq</i> und <i>Waitq</i> ) .....	275
7.8.2	Recyclinghof (Anwendung von <i>Res</i> , <i>Bin</i> und <i>Waitq</i> ) .....	283

## Teil IV Zeitkontinuierliche und kombinierte Simulation

8	Die Klassenbibliothek <i>cadsim</i> zur Simulation zeitkontinuierlicher Prozesse .....	291
8.1	Modellierung und Realisierung zeitkontinuierlicher Prozesse .....	291
8.1.1	Die Klasse <i>Continuous</i> .....	291
8.1.2	Die <i>member</i> -Funktion <i>derivatives</i> .....	293
8.1.3	Die <i>member</i> -Funktion <i>take_a_step</i> .....	300
8.1.4	Die <i>member</i> -Funktion <i>integrate</i> .....	301

8.1.5	Benutzung von Continuous als Process .....	305
8.2	Einrichtung zeitkontinuierlicher Prozesse .....	307
8.3	Datenerfassung zeitkontinuierlicher Zustandsänderungen.....	308
8.3.1	Trace-Ausgabe .....	308
8.3.2	Datensammlung mit Graph .....	309
8.3.3	Graphische Darstellung kontinuierlicher Zustandsgrößen.....	310
9	Kombinierte Simulation mit <i>cadsim</i> .....	313
9.1	Prozeßsynchronisation.....	313
9.1.1	Kopplungen von Continuous- und Discrete-Objekten.....	314
9.1.2	Kopplungen von zeitkontinuierlichen Prozessen .....	317
9.2	Anwendungsbeispiele von <i>cadsim</i> .....	319
9.2.1	Tieföfen .....	319
9.2.2	Chemische Reaktoren .....	330
9.2.3	Tankerflotte.....	341
<b>Literatur</b>	.....	<b>351</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	.....	<b>353</b>