
Karl-Heinz Waldmann · Werner E. Helm

Simulation stochastischer Systeme

Eine anwendungsorientierte Einführung

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	
1.1	Was ist Simulation ?	4
1.2	Der Umgang mit dem Zufall.....	5
1.3	Die Monte Carlo Methode	6
1.4	Die Verwendung von Zufallszahlen	8
1.5	Erste Beispiele.....	9
1.6	Einsatz von Simulation	14
1.7	Aufgaben	17
2	Erzeugung von Zufallsvariablen	
2.1	Zufallszahlen	21
2.2	Die Inversionsmethode.....	34
2.3	Die Verwerfungsmethode.....	44
2.4	Die Faltungsmethode	50
2.5	Die Alias-Methode.....	54
2.6	Die Kompositionsmethode	57
2.7	Berücksichtigung weiterer Verteilungszusammenhänge...	62
2.8	Erzeugung mehrdimensionaler Zufallsvariablen.....	66
2.9	Aufgaben	70
3	Ereignisorientierte Simulation	
3.1	Einführung	77
3.2	Komponenten und Organisation eines ereignisorientierten Simulationsmodells	79
3.3	Anwendung auf ein Wartesystem	84
3.4	Anwendung auf ein Lagersystem.....	87
3.5	Prozessorientierte Simulation	92
3.6	Softwarelösungen zur Simulation	94
3.7	Java-Codes	97
3.8	Aufgaben	106

4	Output Analyse: Statistische Auswertung der Simulationsergebnisse	
4.1	Die Darstellung einer Kenngröße als Erwartungswert	111
4.2	Stichprobenmittel und Stichprobenvarianz	112
4.3	Statische Modelle	114
4.4	Dynamische Modelle mit begrenzter Dauer	119
4.5	Dynamische Modelle mit unbegrenzter Dauer	121
4.6	Multivariate Output-Analyse	125
4.7	Aufgaben	127
5	Statische Simulationsmodelle	
5.1	Monte Carlo Integration	131
5.2	Zuverlässigkeit komplexer Systeme	137
5.3	Netzpläne mit stochastischen Vorgangsdauern	141
5.4	Aufgaben	146
6	Input Analyse: Festlegung der Eingabegrößen	
6.1	Die Auswahlsschritte im Überblick	149
6.2	Exemplarische Modellierung von Schadenshöhen	151
6.3	Exemplarische Modellierung von Schadenshäufigkeiten ..	157
6.4	Auswahl einer Input-Verteilung bei fehlenden Daten	160
6.5	Bayessche Schätzverfahren	161
6.6	Aufgaben	174
7	Varianzreduzierende Verfahren	
7.1	Antithetic Sampling	178
7.2	Die Verwendung einer Kontrollvariablen	182
7.3	Varianzreduktion durch Bedingen	185
7.4	Stratified Sampling	190
7.5	Die Verwendung gemeinsamer Zufallszahlen	193
7.6	Importance Sampling	196
7.7	Ein verfahrensübergreifendes Beispiel	205
7.8	Ergänzende Beweise	211

7.9	Aufgaben	213
8	Markov-Ketten	
8.1	Definition und Grundlagen	219
8.2	Ersteintrittszeiten und Absorptionsverhalten	224
8.3	Asymptotisches Verhalten und stationäre Verteilung	228
8.4	Bewertete Markov-Ketten	233
8.5	Markovsche Entscheidungsprozesse	235
8.6	Simulation einer Markov-Kette	236
8.7	Das Metropolis Hastings Verfahren	237
8.8	Das Gibbs Sampling Verfahren	241
8.9	Festlegung der Eingangsgrößen einer Markov-Kette	243
8.10	Aufgaben	244
9	Poisson-Prozesse	
9.1	Der homogene Poisson-Prozess	249
9.2	Der inhomogene Poisson-Prozess	251
9.3	Der zusammengesetzte Poisson-Prozess	252
9.4	Überlagerung und Zerlegung von Poisson-Prozessen	253
9.5	Simulation eines Poisson-Prozesses	255
9.6	Cox-Prozesse	258
9.7	Festlegung der Eingangsgrößen eines Poisson-Prozesses ..	258
9.8	Aufgaben	259
10	Markov-Prozesse	
10.1	Definition und Grundlagen	263
10.2	Asymptotisches Verhalten und stationäre Verteilung	266
10.3	Ein praxisnaher Zugang	268
10.4	Geburts- und Todesprozesse	272
10.5	Bewertete Markov-Prozesse	273
10.6	Simulation eines Markov-Prozesses	275
10.7	Festlegung der Eingangsgrößen eines Markov-Prozesses ..	276
10.8	Aufgaben	277

11	Wartesysteme	
11.1	Beschreibung eines Wartesystems	281
11.2	Kenngößen eines Wartesystems	283
11.3	Wartesysteme, die auf einem Markov-Prozess basieren...	284
11.4	Wartesysteme mit eingebetteter Markov-Kette	289
11.5	Jackson Netzwerke	291
11.6	G/G/c - Systeme und deren Simulation	296
11.7	Festlegung der Eingangsgrößen eines Wartesystems	297
11.8	Aufgaben	298
	Anhang	298
A	Wahrscheinlichkeitstheorie	
A.1	Zufallsexperimente, Ereignisse und Wahrscheinlichkeiten	301
A.2	Zufallsvariable	304
A.3	Ausgewählte Verteilungen	306
A.4	Erwartungswert und Varianz	325
A.5	Mehrdimensionale Zufallsvariable	327
A.6	Die multivariate Normalverteilung	333
A.7	Summen von unabhängigen Zufallsvariablen	335
A.8	Gemischte Verteilungen	337
A.9	Bedingte Wahrscheinlichkeit und bedingter Erwartungs- wert	339
A.10	Zusammengesetzte Verteilungen	344
A.11	Grenzwertsätze	345
B	Statistik	
B.1	Stichprobenverfahren	351
B.2	Stichprobenverteilungen	353
B.3	Punkt-Schätzung	358
B.4	Die Momentenmethode	359
B.5	Die Maximum Likelihood Methode	361
B.6	Die Maximum Likelihood Methode bei zensierten Daten	364

B.7	Intervall-Schätzung	367
B.8	Testen von Hypothesen	373
B.9	Anpassungstests	379
B.10	Tests auf Unabhängigkeit	395
B.11	Ausgewählte Tabellen	401
	Symbolverzeichnis	407
	Literatur	408
	Index	411