

# Fachberichte Simulation

Herausgegeben von D. Möller und B. Schmidt  
Band 8

B. Page, R. Bölckow, A. Heymann,  
R. Kadler, H. Liebert

## Simulation und moderne Programmiersprachen

Modula-2, C, Ada

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo 1988

# Inhaltsverzeichnis

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Einführung</b>  | <b>1</b>  |
| X <b>2</b> | <b>Anforderungen an die Programmiersprachen aus Sicht der Simulation</b> | <b>7</b>  |
| <b>3</b>   | <b>Kurze Einführung in die untersuchten Sprachen</b>                     | <b>11</b> |
| X          | 3.1 Modula-2   | 11        |
| X          | 3.1.1 Geschichtlicher Überblick  | 11        |
|            | 3.1.2 Erweiterungen und Unterschiede gegenüber Pascal                    | 12        |
|            | 3.1.2.1 Das Modulkonzept   | 12        |
|            | 3.1.2.2 Sichtbarkeit, Gültigkeit und Lebensdauer                         | 15        |
|            | 3.1.2.3 Maschinennahe Programmierung und Koroutinen                      | 17        |
|            | 3.1.2.4 Datenstrukturen und strenge Typbindung                           | 19        |
|            | 3.1.2.5 Syntaktische und semantische Änderungen                          | 20        |
|            | 3.1.3 Zum Sprachumfang   | 22        |
| 3.2        | "C"  | 24        |
|            | 3.2.1 Datentypen und Deklarationen                                       | 24        |
|            | 3.2.1.1 Elementare Datentypen  | 24        |
|            | 3.2.1.2 Zeigertypen  | 25        |
|            | 3.2.1.3 Strukturierte Datentypen   | 25        |
|            | 3.2.1.4 Deklarationen  | 26        |
|            | 3.2.1.5 Typprüfung   | 28        |
|            | 3.2.2 Ausdrücke und Anweisungen  | 29        |
|            | 3.2.2.1 Operanden  | 29        |
|            | 3.2.2.2 Operatoren und Ausdrücke   | 30        |
|            | 3.2.2.3 Anweisungen und Kontrollstrukturen                               | 32        |
|            | 3.2.3 Programmstruktur   | 33        |
|            | 3.2.3.1 Funktionen   | 34        |
|            | 3.2.3.2 Blöcke   | 35        |
|            | 3.2.3.3 Getrennte Übersetzung und Speicherklassen                        | 35        |
|            | 3.2.3.4 Typdefinitionen  | 37        |
|            | 3.2.4 Besonderheiten   | 37        |
|            | 3.2.4.1 Bezeichner   | 37        |
|            | 3.2.4.2 Präprozessor   | 38        |
|            | 3.2.4.3 Laufzeitbibliothek   | 40        |
| X          | 3.2.5 Zusammenfassung  | 41        |

|         |   |           |
|---------|---|-----------|
| 3.3     | Ada   | 43        |
| 3.3.1   | Geschichtlicher Überblick                               | 43        |
| 3.3.2   | Datenstrukturierung                                     | 44        |
| 3.3.2.1 | Datentypen  | 44        |
| 3.3.2.2 | Typenkonzepte und Objekt-Vereinbarungen                 | 46        |
| 3.3.2.3 | Strukturierte Datentypen                                | 49        |
| 3.3.3   | Unterprogramme  | 52        |
| 3.3.3.1 | Parameter   | 53        |
| 3.3.3.2 | Überladen (overloading)                                 | 54        |
| 3.3.4   | Modulkonzepte   | 55        |
| 3.3.4.1 | Bibliothekseinheiten                                    | 55        |
| 3.3.4.2 | Untereinheiten (subunits)                               | 56        |
| 3.3.4.3 | Synonyme  | 57        |
| 3.3.4.4 | Private Typen   | 57        |
| 3.3.5   | Ausnahmen (exceptions)                                  | 59        |
| 3.3.5.1 | Deklaration und Auslösung                               | 59        |
| 3.3.5.2 | <i>Behandlung und Übertragung</i>                       | 60        |
| 3.3.5.3 | Anwendung   | 61        |
| 3.3.6   | Prozesse  | 62        |
| 3.3.6.1 | Deklaration   | 62        |
| 3.3.6.2 | Ablaufsteuerung (scheduling)                            | 64        |
| 3.3.6.3 | Synchronisation und Kommunikation                       | 64        |
| 3.3.6.4 | Alternative Eingangs-Bearbeitung                        | 65        |
| 3.3.6.5 | Alternative Eingangs-Aufrufe                            | 67        |
| 3.3.6.6 | Beendigung von Prozessen                                | 68        |
| 3.3.7   | Generische Programmeinheiten                            | 69        |
| 3.3.7.1 | Generische Vereinbarung                                 | 70        |
| 3.3.7.2 | Generische Inkarnation                                  | 70        |
| 3.3.7.3 | Generische Parameter                                    | 71        |
| 4       | <b>Die Simulationsumgebung und deren Implementation</b> | <b>73</b> |
| 4.1     | Allgemeine Betrachtungen                                | 73        |
| 4.1.1   | Modularisierung   | 73        |
| 4.1.2   | Zugriffsschutz  | 74        |
| 4.1.3   | Freispeicherverwaltung                                  | 75        |
| 4.1.4   | Simulationsstatistik                                    | 75        |

|         |   |      |
|---------|---|------|
| 4.2     | Ereignisorientierte Implementationen . . . . .            | 75   |
| 4.2.1   | Ereignislistenverwaltung ("EventChain") . . . . .         | 77   |
| 4.2.2   | Warteschlangenverwaltung ("Queue") . . . . .              | 78   |
| 4.2.3   | Verteilungsfunktionen ("Distributions") . . . . .         | 80   |
| 4.2.4   | Anmerkungen zu den Implementationen . . . . .             | 82   |
| 4.2.4.1 | Modula . . . . .  | 82   |
| 4.2.4.2 | "C" . . . . .   | 83   |
| 4.2.4.3 | Ada . . . . .   | 84   |
| 4.3     | Prozeßorientierte Implementation . . . . .                | 86   |
| 4.3.1   | Das Paket "Adaset" . . . . .                              | 86   |
| 4.3.2   | Das Paket "Simulation" . . . . .                          | 88 × |
| 4.3.2.1 | Die Anwendersicht . . . . .                               | 89 × |
| 4.3.2.2 | Datenstrukturen . . . . .                                 | 92   |
| 4.3.2.3 | Die Ereignislistenverwaltung . . . . .                    | 93   |
| 4.3.2.4 | Die Ablaufsteuerung von Prozessen . . . . .               | 95   |
| 4.3.2.5 | Prozeßalgorithmen . . . . .                               | 97   |
| 4.3.2.6 | Bewältigung technischer Randprobleme . . . . .            | 98   |
| 5       | Realisierung eines Beispielmodells . . . . .              | 101  |
| 5.1     | Modell einer Fertigungsanlage (Jobshop-Modell) . . . . .  | 101  |
| 5.1.1   | Zur Wahl des Modells . . . . .                            | 101  |
| 5.1.2   | Modellspezifikation . . . . .                             | 101  |
| 5.1.3   | Erweiterungen für die prozeßorientierte Version . . . . . | 103  |
| 5.2     | Ereignisorientierte Version . . . . .                     | 104  |
| 5.2.1   | Bestimmung der Ereignisarten . . . . .                    | 104  |
| 5.2.2   | Umsetzung in Datenstrukturen und Prozeduren . . . . .     | 106  |
| 5.2.2.1 | Datenstrukturen . . . . .                                 | 106  |
| 5.2.2.2 | Prozeduren . . . . .                                      | 110  |
| 5.2.3   | Anmerkungen zur Statistik . . . . .                       | 115  |
| 5.2.4   | Besonderheiten der einzelnen Implementationen . . . . .   | 116  |
| 5.2.4.1 | Anmerkungen zur Modula-Version . . . . .                  | 116  |
| 5.2.4.2 | Anmerkungen zur "C"-Version . . . . .                     | 117  |
| 5.2.4.3 | Anmerkungen zur Ada-Version . . . . .                     | 118  |
| 5.2.5   | Diskussion der Ergebnisse . . . . .                       | 119  |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.3      | Prozeßorientierte Version ("Jobshop_Process")        | 122        |
| 5.3.1    | Der Prozeß im Jobshop-Modell                         | 122        |
| 5.3.2    | Modularisierungskonzepte                             | 122        |
| 5.3.3    | Anbindung an die Simulationsumgebung                 | 124        |
| 5.3.4    | Probleme bei der Implementation                      | 124        |
| 5.3.5    | Module innerhalb "Jobshop_Process"                   | 125        |
| 5.3.5.1  | "Common"   | 125        |
| 5.3.5.2  | "MachineGroup"                                       | 127        |
| 5.3.5.3  | "Main"   | 131        |
| 5.3.6    | Statistikführung                                     | 133        |
| <b>6</b> | <b>Bewertung der untersuchten Sprachen</b>           | <b>134</b> |
| 6.1      | Modularisierung                                      | 135        |
| 6.1.1    | Vergleich der Konzepte                               | 136        |
| 6.1.2    | Das Problem der strengen Typbindung                  | 137        |
| 6.2      | Prozeßorientierte Simulation                         | 138        |
| 6.3      | Temporäre Objekte                                    | 139        |
| 6.4      | Ein- / Ausgabeformatierung                           | 139        |
| 6.5      | Verständlichkeit von Quelltexten                     | 141        |
| 6.6      | Verfügbarkeit von Übersetzern                        | 142        |
| 6.7      | Programmierungsumgebung                              | 143        |
| 6.8      | Zusammenfassung                                      | 144        |
| <b>7</b> | <b>Ausblick</b>                                      | <b>146</b> |
| 7.1      | Allgemeine Aspekte                                   | 146        |
| 7.1.1    | Tracing  | 146        |
| 7.1.2    | Automatische Statistik                               | 147        |
| 7.1.3    | Präprozessoren                                       | 147        |
| 7.2      | Ereignisorientierter Ansatz                          | 149        |
| 7.2.1    | Das Modul "EventChain"                               | 149        |
| 7.2.2    | Das Modul "Queue"                                    | 149        |
| 7.2.3    | Das Modul "Distributions"                            | 150        |
| 7.3      | Prozeßorientierter Ansatz                            | 151        |
| 7.3.1    | Modula-2: Die Prozeduren "NEWPROCESS" und "TRANSFER" | 151        |
| 7.3.2    | "C": Die Funktionen "setjmp" und "longjmp"           | 152        |
| 7.3.3    | Ada: Die Pakete "Simulation" und "Samoa"             | 153        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Anhänge: Programmtexte</b>                  | <b>155</b> |
| <b>A Ereignisorientierte Version</b>           | <b>155</b> |
| A.1 Modula                                     | 155        |
| A.1.1 Die Simulationsumgebung                  | 155        |
| A.1.1.1 EventChain                             | 155        |
| A.1.1.2 Queue                                  | 159        |
| A.1.1.3 Distributions                          | 166        |
| A.1.1.4 FloatInOut                             | 169        |
| A.1.2 Das Job-Shop-Modell                      | 172        |
| A.2 "C"  | 182        |
| A.2.1 Die Simulationsumgebung                  | 182        |
| A.2.1.1 Spezifikationen                        | 182        |
| A.2.1.2 EventChain                             | 187        |
| A.2.1.3 Queue                                  | 190        |
| A.2.1.4 Distributions                          | 194        |
| A.2.2 Das Job-Shop-Modell                      | 196        |
| A.3 Ada  | 204        |
| A.3.1 Die Simulationsumgebung                  | 204        |
| A.3.1.1 Global                                 | 204        |
| A.3.1.2 EventChain                             | 205        |
| A.3.1.3 Queue                                  | 208        |
| A.3.1.4 Distributions                          | 213        |
| A.3.2 Das Job-Shop-Modell                      | 216        |
| A.4 Ausgaben zum Job-Shop-Modell               | 223        |
| <b>B Prozeßorientierte Version</b>             | <b>227</b> |
| B.1 Adaset                                     | 227        |
| B.1.1 Spezifikationsteil                       | 227        |
| B.1.2 Implementationsteil                      | 229        |
| B.2 Simulation                                 | 232        |
| B.2.1 Spezifikationsteil                       | 232        |
| B.2.2 Implementationsteil                      | 235        |
| B.3 Das priorisierte Job-Shop-Modell           | 245        |
| B.4 Ausgaben zum priorisierten Job-Shop-Modell | 261        |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                    | <b>265</b> |
| <b>Sachwortverzeichnis</b>                     | <b>270</b> |