

Informatik – Fachberichte

- Band 31: Firmware Engineering. Seminar veranstaltet von der gemeinsamen Fachgruppe „Mikroprogrammierung“ des GI-Fachausschusses 3/4 und des NTG-Fachausschusses 6 vom 12.–14. März 1980 in Berlin. Herausgegeben von W. K. Giloi. VII, 289 Seiten 1980.
- Band 32: M. Kühn, CAD Arbeitssituation. Untersuchungen zu den Auswirkungen von CAD sowie zur menschengerechten Gestaltung von CAD-Systemen. VII, 215 Seiten. 1980.
- Band 33: GI–10. Jahrestagung. Herausgegeben von R. Wilhelm. XV, 563 Seiten. 1980.
- Band 34: CAD-Fachgespräch. GI–10. Jahrestagung. Herausgegeben von R. Wilhelm. VI, 184 Seiten. 1980.
- Band 35: B. Buchberger, F. Lichtenberger, Mathematik für Informatiker I. Die Methode der Mathematik. XI, 315 Seiten. 1980
- Band 36: The Use of Formal Specification of Software. Berlin, Juni 1979. Edited by H. K. Berg and W. K. Giloi. V, 388 pages. 1980.
- Band 37: Entwicklungstendenzen wissenschaftlicher Rechenzentren. Kolloquium, Göttingen, Juni 1980. Herausgegeben von D. Wall. VII, 163 Seiten. 1980.
- Band 38: Datenverarbeitung im Marketing. Herausgegeben von R. Thome. VIII, 377 pages. 1981.
- Band 39: Fachtagung Prozeßrechner 1981. München, März 1981. Herausgegeben von R. Baumann. XVI, 476 Seiten. 1981.
- Band 40: Kommunikation in verteilten Systemen. Herausgegeben von S. Schindler und J. C. W. Schröder. IX, 459 Seiten. 1981.
- Band 41: Messung, Modellierung und Bewertung von Rechen-systemen. GI-NTG-Fachtagung. Jülich, Februar 1981. Herausgegeben von B. Mertens. VIII, 368 Seiten. 1981.
- Band 42: W. Kilian, Personalinformationssysteme in deutschen Großunternehmen. XV, 352 Seiten. 1981.
- Band 43: G. Goos, Werkzeuge der Programmieretechnik. GI-Arbeits-tagung. Proceedings, Karlsruhe, März 1981. VI, 262 Seiten. 1981.
- Band 44: Organisation informationstechnik-geschützter öffentlicher Verwaltungen. Fachtagung, Speyer, Oktober 1980. Herausgegeben von H. Reinermann, H. Fiedler, K. Grimmer und K. Lenk. VIII, 651 Seiten. 1981.
- Band 45: R. Marty, PISA—A Programming System for Interactive Production of Application Software. VII, 297 Seiten. 1981.
- Band 46: F. Wolf, Organisation und Betrieb von Rechenzentren. Fachgespräch der GI, Erlangen, März 1981, VII, 244 Seiten. 1981.
- Band 47: GWAI–81 German Workshop on Artificial Intelligence. Bad Honnef, January 1981. Herausgegeben von J. H. Siekmann. XII, 317 Seiten. 1981.
- Band 48: W. Wahlster, Natürlichsprachliche Argumentation in Dialogsystem. KI-Verfahren zur Rekonstruktion und Erklärung approximativer Inferenzprozesse. XI, 194 Seiten. 1981.
- Band 49: Modelle und Strukturen. DAG 11 Symposium, Hamburg, Oktober 1981. Herausgegeben von B. Radig. XII, 404 Seiten. 1981.
- Band 50: GI–11. Jahrestagung. Herausgegeben von W. Brauer. XIV, 617 Seiten. 1981.
- Band 51: G. Pfeiffer, Erzeugung interaktiver Bildverarbeitungssysteme im Dialog. X, 154 Seiten. 1982.
- Band 52: Application and Theory of Petri Nets. Proceedings, Strasbourg 1980, Bad Honnef 1981. Edited by C. Girault and W. Reisig. X, 337 pages. 1982.
- Band 53: Programmiersprachen und Programmentwicklung. Fachtagung der GI. München, März 1982. Herausgegeben von H. Wössner. VIII, 237 Seiten. 1982.
- Band 54: Fehlertolerierende Rechnersysteme. GI-Fachtagung, München, März 1982. Herausgegeben von E. Nett und H. Schwärzel. VII, 322 Seiten. 1982.
- Band 55: W. Kowalk, Verkehrsanalyse in endlichen Zeiträumen. VI, 181 Seiten. 1982.
- Band 56: Simulationstechnik. Proceedings, 1982. Herausgegeben von M. Goller. VIII, 544 Seiten. 1982.
- Band 57: GI–12. Jahrestagung. Proceedings, 1982. Herausgegeben von J. Nehmer. IX, 732 Seiten. 1982.
- Band 58: GWAI–82. 6th German Workshop on Artificial Intelligence. Bad Honnef, September 1982. Edited by W. Wahlster. VI, 246 pages. 1982.
- Band 59: Künstliche Intelligenz. Frühjahrsschule Teisendorf, März 1982. Herausgegeben von W. Bibel und J. H. Siekmann. XIII, 383 Seiten. 1982.
- Band 60: Kommunikation in Verteilten Systemen. Anwendungen und Betrieb. Proceedings, 1983. Herausgegeben von Sigram Schindler und Otto Spaniol. IX, 738 Seiten. 1983.
- Band 61: Messung, Modellierung und Bewertung von Rechen-systemen. 2. GI/NTG-Fachtagung, Stuttgart, Februar 1983. Herausgegeben von P. J. Kühn und K. M. Schulz. VII, 421 Seiten. 1983.
- Band 62: Ein inhaltsadressierbares Speichersystem zur Unterstützung zeitkritischer Prozesse der Informationswiedergewinnung in Datenbanksystemen. Michael Maimis. XII, 228 Seiten. 1983.
- Band 63: H. Bender, Korrekte Zugriffe zu Verteilten Daten. VIII, 203 Seiten. 1983.
- Band 64: F. Hoßfeld, Parallele Algorithmen. VIII, 232 Seiten. 1983.
- Band 65: Geometrisches Modellieren. Proceedings, 1982. Herausgegeben von H. Nowacki und R. Gnatz. VII, 399 Seiten. 1983.
- Band 66: Applications and Theory of Petri Nets. Proceedings, 1982. Edited by G. Rozenberg. VI, 315 pages. 1983.
- Band 67: Data Networks with Satellites. GI/NTG Working Conference, Cologne, September 1982. Edited by J. Majus and O. Spaniol. VI, 251 pages. 1983.
- Band 68: B. Kutzler, F. Lichtenberger, Bibliography on Abstract Data Types. V, 194 Seiten. 1983.
- Band 69: Betrieb von DN-Systemen in der Zukunft. GI-Fachgespräch, Tübingen, März 1983. Herausgegeben von M. A. Graef. VIII, 343 Seiten. 1983.
- Band 70: W. E. Fischer, Datenbanksystem für CAD-Arbeitsplätze. VII, 222 Seiten. 1983.
- Band 71: First European Simulation Congress ESC 83. Proceedings, 1983. Edited by W. Ameling. XII, 653 pages. 1983.
- Band 72: Sprachen für Datenbanken. GI-Jahrestagung, Hamburg, Oktober 1983. Herausgegeben von J. W. Schmidt. VII, 237 Seiten. 1983.
- Band 73: GI–13. Jahrestagung, Hamburg, Oktober 1983. Proceedings. Herausgegeben von J. Kupka. VIII, 502 Seiten. 1983.
-

Informatik-Fachberichte 117

Herausgegeben von W. Brauer
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI)

Johannes Röhrich

Parallele Systeme



Springer-Verlag Berlin
Heidelberg GmbH

Autor

Johannes Röhrich
Universität Karlsruhe, Institut für Informatik II
Zirkel 2, Postfach 6380, D-7500 Karlsruhe 1, FRG

CR Subject Classifications (1985): C.0, D.1.3, D.2.4, D.4.1, D.4.7

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek. Röhrich, Johannes: Parallele Systeme / Johannes Röhrich. - Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer, 1986.
(Informatik-Fachberichte; 117)

NE: GT

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically those of translation, reprinting, re-use of illustrations, broadcasting, reproduction by photocopying machine or similar means, and storage in data banks. Further, storage or utilization of the described programmes on data processing installations is forbidden without the written permission of the author. Under § 54 of the German Copyright Law where copies are made for other than private use, a fee is payable to "Verwertungsgesellschaft Wort", Munich.

ISBN 978-3-540-16063-2 ISBN 978-3-662-09195-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-09195-1

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1986

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1986.

Vorwort

Systeme paralleler Prozesse gehören seit jeher zu den reizvollsten Forschungsgegenständen der Informatik. Gleichzeitig klafft die Lücke zwischen Theorie und den Bedürfnissen des Software-Ingenieurs in kaum einem anderen Gebiet so sehr wie in diesem. Der Ingenieur benötigt wissenschaftlich fundierte Methoden zur Programmkonstruktion für — und das ist der springende Punkt — von-Neumann-Rechner; er verwendet sequentiell-algorithmische Programmiersprachen, die gleichsam im Nachhinein um Konzepte der Programmierung paralleler Systeme ergänzt wurden. Der Theoretiker, der das Wesen der Parallelität zu ergründen versucht, findet andere, dazu viel besser geeignete Semantikmodelle und Maschinenarchitekturen — sofern er sich überhaupt um die praktische Umsetzbarkeit seiner Theorie kümmert. Es ist sicher nicht zu kühn, zu behaupten, daß noch wenigstens eine Dekade vergehen wird, bis nicht-von-Neumannsche Maschinen in größerem Umfang gebaut und verbreitet werden. Diese Arbeit hat deshalb zum Ziel, Methoden zur Strukturierung und zur Verifikation (verteilter) paralleler Systeme zu entwickeln, die aus sequentiellen, auf Maschinen herkömmlicher Bauart ablaufenden Prozessen bestehen.

Ich möchte allen danken, die mich unterstützt haben. Léon Treff und Franz-Johann Schneider haben wesentlichen Anteil an der Implementierung des Patsy-Systems und der Entwicklung des Modulkonzepts. Prof. Dr. Uwe Kastens hat mir wertvolle Ratschläge zur Semantik der Spezifikationssprache gegeben und mich darüber hinaus in zahlreichen Diskussionen unterstützt und motiviert. Dank gebührt besonders auch Prof. Dr. Gerhard Goos; er hat meine Aufmerksamkeit auf dieses Gebiet gelenkt, mir den für den Fortgang der Arbeit notwendigen Freiraum geschaffen und mit seiner konstruktiven Kritik sehr zur klareren Formulierung komplexer Zusammenhänge beigetragen. Diese Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung meiner Frau Ulrike, die neben ihrer Doktorarbeit immer die Zeit fand, mich im rechten Augenblick zu ermutigen und auf neue Ideen zu bringen.

Inhaltsverzeichnis

EINFÜHRUNG	1
1. GRUNDBEGRIFFE UND TYPISCHE PROBLEMSTELLUNGEN	7
1.0 Überblick	7
1.1 Prozeß, Operation, Ereignis	9
1.2 Prozeßobjekt, Prozeßtyp, Programm	11
1.3 Synchronisation, Kommunikation	17
1.4 Parallele Systeme	23
1.5 Lebendigkeitseigenschaften	26
2. LEBENDIGKEITSEIGENSCHAFTEN	29
2.0 Überblick	29
2.1 Lokale und globale Lebendigkeitseigenschaften	32
2.2 Gerechtigkeit und Verhungerungsfreiheit	42
2.3 Lebendigkeitseigenschaften von Petri-Netzen	47
3. HIERARCHISCH MODULARISIERTE PARALLELE SYSTEME	55
3.0 Überblick	55
3.1 Beispiel: Ein Fernmeldenetz	57
3.2 Modula und Schnittstellen	61
3.3 Lebendigkeit in hierarchischen parallelen Systemen	66
4. ZEIT IN VERTEILTEN SYSTEMEN	69
4.0 Überblick	69
4.1 Virtuelle Zeit	70
4.2 Systeme kommunizierender Prozesse	72
4.3 Konsistenz und Lebendigkeit	75
4.4 Lokale und globale Uhren	76
5. VERTEILTE IMPLEMENTIERUNG PARALLELER SYSTEME	79
5.0 Überblick	79
5.1 Zeitlicher Ausschluß in verteilten Systemen	81
5.2 Verteilte Implementierung paralleler Systeme	89

Inhaltsverzeichnis

6. AUTOMATISCHE VERIFIKATION PARALLELER SYSTEME	95
6.0 Überblick	95
6.1 Das Verifikationssystem Patsy: Zielsetzung	96
6.2 Struktur des Patsy-Systems	98
6.3 Automatische Verifikation von Lebendigkeitseigenschaften	102
7. SPEZIFIKATION PARALLELER SYSTEME	107
7.0 Überblick	107
7.1 Systeme konkurrierender Prozesse	109
7.2 Systeme kooperierender Prozesse	117
8. AXIOMATISCHE VERIFIKATION PARALLELER SYSTEME	125
8.0 Überblick	125
8.1 Axiomatische Definition von CSP	128
8.2 Beweis von Lebendigkeitseigenschaften	132
9. ZUSAMMENFASSUNG	139
LITERATURVERZEICHNIS	145

Symbole und Schreibweisen

Kapitel 1

p, q	Prozesse (Definition 1.1)
P	Menge von Prozessen
x, y	Ereignisse (Definition 1.1), Wörter aus Ereignisnamen (Definition 1.2)
E	Menge von Ereignissen (Definition 1.1)
$x \rightarrow_p y$	Reihenfolge der Ereignisse im Prozeß p (Definition 1.1)
pt	Prozeßtyp (Definition 1.2)
po	Prozeßobjekt (Definition 1.3)
PO	Menge von Prozeßobjekten
e, f	Ereignisnamen (Definition 1.2)
EN	Menge von Ereignisnamen (Definition 1.2)
t	paralleler Ereignisname (Definition 1.5)
$e == f$	Spezifikation der Gleichzeitigkeit für zwei Ereignisnamen (Definition 1.5)
u, v	Wörter aus parallelen Ereignisnamen
PEN	Menge paralleler Ereignisnamen (Definition 1.5)
$\Pi(PO)$	freies Produkt einer Menge von Prozeßobjekten (Definition 1.6)
q	Pfad (Definition 1.7)
Q	Menge von Pfaden
S	paralleles System (Definition 1.8)

Kapitel 2

$[u]$	Systemzustand nach der Ereignisfolge u (Abschnitt 2.2)
$[u] \rightarrow_v [uv]$	Übergang zwischen Systemzuständen (Abschnitt 2.2)
Z	Systemzustände (Abschnitt 2.2)
C	Zustandskomponente (Abschnitt 2.2)
$AKT(C)$	in der Zustandskomponente C aktive Prozesse (Abschnitt 2.2)

$\text{BER}(C)$	in der Zustandskomponente C bereite, aktivierbare Prozesse (Abschnitt 2.2)
N	Petri-Netz (Definition 2.10)
S	Stellen eines Petri-Netzes (Definition 2.10)
T	Transitionen eines Petri-Netzes (Definition 2.10)
$s \rightarrow t$	Kante von Stelle s nach Transition t (Definition 2.10)
$t \rightarrow s$	Kante von Transition t nach Stelle s (Definition 2.10)
\bullet_s	Eingangstransitionen der Stelle s
s^\bullet	Ausgangstransitionen der Stelle s
\bullet_t	Eingangsstellen der Transition t
t^\bullet	Ausgangsstellen der Transition t
M	Markierung eines Petri-Netzes (Definition 2.11)
M^0	Anfangsmarkierung
$M \xrightarrow{t} M'$	Übergang von Markierung M zu Markierung M' durch Feuern der Transition t (Definition 2.12)
$[M]$	Nachfolgemarkierungen einer Markierung M
τ	Menge von Transitionen (Abschnitt 2.3)
$M \xrightarrow{\tau} M'$	Übergang durch kollaterales Feuern der Transitionen $\tau \subset T$ (Abschnitt 2.3)
$\dot{\tau}$	das der Transitionenmenge τ zugeordnete parallele Ereignis (Abschnitt 2.3)

Kapitel 4

$x \Rightarrow y$	Nachricht von einem Prozeß an einen anderen (Definition 4.2)
$x \Leftrightarrow y$	Rendez-Vous zwischen zwei Prozessen (Definition 4.3)
SK	System kommunizierender Prozesse (Definition 4.4)
T	Menge von Zeitpunkten (Definition 4.1)
C	Uhr (Definition 4.6)
$x \Longrightarrow y$	globale Reihenfolge der Ereignisse in einem System kommunizierender Prozesse (Definition 4.5)

Allgemeine mathematische Notation

ϵ	leeres Wort
A^*	Kleene-Stern der Menge A
$\text{pref}(M)$	Präfix von M , $\{x \mid \text{SPC}(te) y: xy \in M\}$
$\pi_M(x), x_M$	Projektion von x auf M
$P \supset Q$	P impliziert Q
$P \iff Q$	P gilt genau dann, wenn Q gilt
$P \equiv Q$	P ist kongruent zu Q
\mathbf{N}^0	natürliche Zahlen (einschließlich der Null)
\rightarrow	Übergangs- oder Ordnungsrelation
\rightarrow^+	transitiver Abschluß der Relation \rightarrow
\rightarrow^*	reflexiver und transitiver Abschluß der Relation \rightarrow