Informatik – Fachberichte

Band 214: W. Görke, H. Sörensen (Hrsg.), Fehlertolerierende Rechensysteme / Fault-Tolerant Computing Systems. 4. Internationale GI/ITG/GMA-Fachtagung, Baden-Baden, September 1989. Proceedings. XI, 390 Seiten. 1989.

Band 215: M. Bidjan-Irani, Qualität und Testbarkeit hochintegrierter Schaltungen. IX, 169 Seiten. 1989.

Band 216: D. Metzing (Hrsg.), GWAI-89. 13th German Workshop on Artificial Intelligence. Eringerfeld, September 1989. Proceedings. XII, 485 Seiten. 1989.

Band 217: M. Zieher, Kopplung von Rechnernetzen. XII, 218 Seiten. 1989.

Band 218: G. Stiege, J. S. Lie (Hrsg.), Messung, Modellierung und Bewertung von Rechensystemen und Netzen. 5. GI/ITG-Fachtagung, Braunschweig, September 1989. Proceedings. IX, 342 Seiten. 1989.

Band 219: H. Burkhardt, K. H. Höhne, B. Neumann (Hrsg.), Mustererkennung 1989. 11. DAGM-Symposium, Hamburg, Oktober 1989. Proceedings. XIX, 575 Seiten. 1989

Band 220: F. Stetter, W. Brauer (Hrsg.), Informatik und Schule 1989: Zukunftsperspektiven der Informatik für Schule und Ausbildung. GI-Fachtagung, München, November 1989. Proceedings. XI, 359 Seiten. 1989.

Band 221: H. Schelhowe (Hrsg.), Frauenwelt – Computerräume. GI-Fachtagung, Bremen, September 1989. Proceedings. XV, 284 Seiten. 1989.

Band 222: M. Paul (Hrsg.), GI – 19. Jahrestagung I. München, Oktober 1989. Proceedings. XVI, 717 Seiten. 1989.

Band 223: M. Paul (Hrsg.), GI – 19. Jahrestagung II. München, Oktober 1989. Proceedings. XVI, 719 Seiten. 1989.

Band 224: U. Voges, Software-Diversität und ihre Modellierung. VIII, 211 Seiten. 1989

Band 225: W. Stoll, Test von OSI-Protokollen. IX, 205 Seiten. 1989.

Band 226: F. Mattern, Verteilte Basisalgorithmen. IX, 285 Seiten. 1989.

Band 227: W. Brauer, C. Freksa (Hrsg.), Wissensbasierte Systeme. 3. Internationaler GI-Kongreß, München, Oktober 1989. Proceedings. X, 544 Seiten. 1989.

Band 228: A. Jaeschke, W. Geiger, B. Page (Hrsg.), Informatik im Umweltschutz. 4. Symposium, Karlsruhe, November 1989. Proceedings. XII, 452 Seiten. 1989.

Band 229: W. Coy, L. Bonsiepen, Erfahrung und Berechnung. Kritik der Expertensystemtechnik. VII, 209 Seiten. 1989.

Band 230: A. Bode, R. Dierstein, M. Göbel, A. Jaeschke (Hrsg.), Visualisierung von Umweltdaten in Supercomputersystemen. Karlsruhe, November 1989. Proceedings. XII, 116 Seiten. 1990.

Band 231: R. Henn, K. Stieger (Hrsg.), PEARL 89 – Workshop über Realzeitsysteme. 10. Fachtagung, Boppard, Dezember 1989. Proceedings. X, 243 Seiten. 1989.

Band 232: R. Loogen, Parallele Implementierung funktionaler Programmiersprachen. IX, 385 Seiten. 1990.

Band 233: S. Jablonski, Datenverwaltung in verteilten Systemen. XIII, 336 Seiten. 1990.

Band 234: A. Pfitzmann, Diensteintegrierende Kommunikationsnetze mit teilnehmerüberprüfbarem Datenschutz. XII, 343 Seiten. 1990.

Band 235: C. Feder, Ausnahmebehandlung in objektorientierten Programmiersprachen. IX, 250 Seiten. 1990.

Band 236: J. Stoll, Fehlertoleranz in verteilten Realzeitsystemen. IX, 200 Seiten. 1990.

Band 237: R. Grebe (Hrsg.), Parallele Datenverarbeitung mit dem Transputer. Aachen, September 1989. Proceedings. VIII, 241 Seiten. 1990.

Band 238: B. Endres-Niggemeyer, T. Hermann, A. Kobsa, D. Rösner (Hrsg.), Interaktion und Kommunikation mit dem Computer. Ulm, März 1989. Proceedings. VIII, 175 Seiten. 1990.

Band 239: K. Kansy, P. Wißkirchen (Hrsg.), Graphik und KI. Königswinter, April 1990. Proceedings. VII, 125 Seiten. 1990.

Band 240: D. Tavangarian, Flagorientierte Assoziativspeicher und -prozessoren. XII. 193 Seiten. 1990.

Band 241: A. Schill, Migrationssteuerung und Konfigurationsverwaltung für verteilte objektorientierte Anwendungen. IX, 174 Seiten. 1990.

Band 242: D. Wybranietz, Multicast-Kommunikation in verteilten Systemen. VIII, 191 Seiten. 1990.

Band 243: U. Hahn, Lexikalisch verteiltes Text-Parsing. X, 263 Seiten. 1990.

Band 244: B. R. Kämmerer, Sprecherunabhängigkeit und Sprecheradaption. VIII, 110 Seiten. 1990.

Band 245: C. Freksa, C. Habel (Hrsg.), Repräsentation und Verarbeitung räumlichen Wissens. VIII, 353 Seiten. 1990.

Band 246: Th. Bräunl, Massiv parallele Programmierung mit dem Parallaxis-Modell. XII, 168 Seiten. 1990

Band 247: H. Krumm, Funktionelle Analyse von Kommunikationsprotokollen. IX, 122 Seiten. 1990.

Band 248: G. Moerkotte, Inkonsistenzen in deduktiven Datenbanken. VIII, 141 Seiten. 1990.

Band 249: P. A. Gloor, N. A. Streitz (Hrsg.), Hypertext und Hypermedia. IX, 302 Seiten. 1990.

Band 250: H. W. Meuer (Hrsg.), SUPERCOMPUTER '90. Mannheim, Juni 1990. Proceedings. VIII, 209 Seiten. 1990.

Band 251: H. Marburger (Hrsg.), GWAI-90. 14th German Workshop on Artificial Intelligence. Eringerfeld, September 1990. Proceedings. X, 333 Seiten. 1990.

Band 252: G. Dorffner (Hrsg.), Konnektionismus in Artificial Intelligence und Kognitionsforschung. 6. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung (KONNAI), Salzburg, September 1990. Proceedings. VIII, 246 Seiten. 1990.

Band 253: W. Ameling (Hrsg.), ASST '90. 7. Aachener Symposium für Signaltheorie. Aachen, September 1990. Proceedings. XI, 332 Seiten. 1990.

Band 254: R. E. Großkopf (Hrsg.), Mustererkennung 1990. 12. DAGM-Symposium, Oberkochen-Aalen, September 1990. Proceedings. XXI, 686 Seiten. 1990.

Band 255: B. Reusch, (Hrsg.), Rechnergestützter Entwurf und Architektur mikroelektronischer Systeme. GME/GI/ITG-Fachtagung, Dortmund, Oktober 1990. Proceedings. X, 298 Seiten. 1990.

Band 256: W. Pillmann, A. Jaeschke (Hrsg.), Informatik für den Umweltschutz. 5. Symposium, Wien, September 1990. Proceedings. XV, 864 Seiten. 1990.

Band 257: A. Reuter (Hrsg.), GI – 20. Jahrestagung I. Stuttgart, Oktober 1990. Proceedings. XVIII, 602 Seiten. 1990.

Band 258: A. Reuter (Hrsg.), GI – 20. Jahrestagung II. Stuttgart, Oktober 1990. Proceedings. XVIII, 602 Seiten. 1990.

Band 259: H.-J. Friemel, G. Müller-Schönberger, A. Schütt (Hrsg.), Forum '90 Wissenschaft und Technik. Trier, Oktober 1990. Proceedings. XI, 532 Seiten. 1990.

Band 260: B. J. Frommherz, Ein Roboteraktionsplanungssystem. XI, 134 Seiten. 1990.

Informatik-Fachberichte 260

Herausgeber: W. Brauer
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI)

Subreihe Künstliche Intelligenz

Mitherausgeber: C. Freksa
in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich 1
„Künstliche Intelligenz" der GI

Bernhard J. Frommherz

Ein Roboteraktions-planungssystem

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York London
Paris Tokyo Hong Kong Barcelona

Autor

Bernhard J. Frommherz
Moltkestr. 25, W-7500 Karlsruhe 1

CR Subject Classification (1987): I.2.8-9

ISBN 978-3-540-53401-3 **ISBN 978-3-642-51150-9 (eBook)**
DOI 10.1007/978-3-642-51150-9

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, bei auch nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990

2145/3140-543210 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Geleitwort

In den letzten Jahren wird vielerorts versucht, Systeme zur Automatisierung der Prozeßplanung und Montageplanung zu erforschen. Im Rahmen dieser Arbeiten wurde am Institut für Prozeßrechentechnik und Robotik (IPR) an der Universität Karlsruhe vor einigen Jahren als Teilprojekt des Sonderforschungsbereiches "Künstliche Intelligenz" mit dem Bau eines autonomen mobilen Zweiarmroboters, genannt KAMRO, begonnen. Dieser Roboter sollte in der Lage sein, aus einer abstrakten Beschreibung einer Montageaufgabe alle zur Durchführung notwendigen Schritte selbst zu planen und diese sensorüberwacht auszuführen. Das Planungssystem, das die Aufgabenbeschreibung in ein Netz aus elementaren Einzelaktionen überführt, bildete neben der Planausführungskomponente eine wichtige Säule des Gesamtsystems.

Der Planungsprozeß ist stark von dem Zusammenwirken vieler spezialisierter Teilkomponenten abhängig. Da keines der bekannten Planungssysteme diese Problematik ausreichend berücksichtigte, wurde eine neue Planungsmethode entwickelt und darüber hinaus eine Systemarchitektur, in die sich die verschiedenen Teilsysteme einbetten ließen.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich hauptsächlich mit einem automatischen System zur Erstellung von Vorranggraphen, sie liefert aber auch ein Gesamtkonzept, das sowohl eine mögliche Planungsmethode als auch die dazu gehörige Architektur umfaßt. Die Arbeit gibt einen wertvollen Beitrag und sollte richtungsweisend für weitere Forschungsprojekte auf diesem Gebiet sein.

Karlsruhe, im September 1990 Prof. Dr.-Ing. U. Rembold

Vorwort

In der Literatur findet man zahlreiche Planungssysteme, die für verschiedenste Teilbereiche der Robotik entworfen wurden. Die Motivation dafür, sich im Rahmen einer Dissertation mit einem neuen Konzept eines Planungssystems zu befassen, lag u.a. darin, daß die vorhandenen Systeme auf das Problem der Umplanung nur unzureichend eingehen: Die frühen Planungssysteme umgehen das Problem völlig, d.h. es muß neu geplant werden, wenn sich der aktuelle Plan als unausführbar erweist. Andere versuchen, den ungültig gewordenen Plan lokal zu reparieren, was in vielen Fällen nur zu suboptimalen Plänen führt. Wieder andere versuchen, alle alternativen Pläne im voraus zu erzeugen und diese in einer geeigneten Datenstruktur abzulegen, was in der Praxis meist am Aufwand scheitert. In der Dissertation wurde daher ein neuer Weg beschritten: Der zu erstellende Plan wird durch ein heuristisches Suchverfahren bestimmt, durch das im Falle neu hinzukommender Restriktionen relativ schnell ein Ersatzplan gefunden werden kann.

Ich freue mich, daß meine Dissertation, die an der Universität Karlsruhe mit dem ursprünglichen Titel "Ein Konzept für ein Roboteraktionsplanungssystem" durchgeführt wurde, in Form des vorliegenden Buches erscheinen konnte, und möchte mich bei dieser Gelegenheit noch einmal bei all jenen bedanken, die mir dabei geholfen haben: Aus den fachlichen Diskussionen mit meinen beiden Betreuern, Herrn Prof. Dr.-Ing. U. Rembold (Institut für Prozeßrechentechnik und Robotik) und Herrn Prof. Dr. P. Deussen (Institut für Logik, Komplexität und Deduktionssysteme), ergaben sich wertvolle Anregungen und Hinweise für meine Arbeit. Ebenso danke ich meinen Kollegen am Institut für Prozeßrechentechnik und Robotik für ihre konstruktive Kritik. Besonders hervorheben möchte ich hierbei Frau Erika Beer, Herrn Andreas Hörmann und Herrn Gerhard Werling, die sich eingehend mit der Thematik der Arbeit befaßt und Korrektur gelesen haben. Mein Dank gilt nicht zuletzt auch den Studenten, die die Theorie in die Praxis umsetzten und die entsprechenden Systemteile auf dem Rechner implementierten. Die Zusammenarbeit mit ihnen war gleichermaßen erfreulich wie nützlich und hat wesentlich zum Erfolg der Arbeit beigetragen.

Karlsruhe, im September 1990 Bernhard Frommherz

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

1.1 Motivation und Zielsetzung der Arbeit 1

1.2 Das Prinzip des Planungssystems 4

1.3 Einordnung in verwandte Arbeiten 7

1.3.1 Planungssysteme der Künstlichen Intelligenz 7

1.3.2 Planungssysteme der Robotik 11

1.3.3 Die traditionelle Montageplanung 12

1.4 Abgrenzung des Problemkreises 15

2 Die Ableitung von Vorrangrestriktionen **17**

2.1 Betrachtung einer Montageanordnung 19

2.1.1 Das Durchdringungsverbot 19

2.1.2 Die Stabilitätsforderung 26

2.1.3 Vermeidung von Seiteneffekten 31

2.2 Betrachtung der Ausgangs- und Zielanordnung 36

2.2.1 Die Verkettung von Pick- und Place-Graphen 36

2.2.2 Wechselwirkungen zwischen Ziel- und Ausgangsanordnung 44

2.3 Betrachtung von Ausgangs- und Zielanordnung und eines Agenten 46

2.3.1 Die Schnittstelle zur Detailplanung 47

2.3.2 Ableitung von Vorrangrestriktionen durch Detailplanungsmodule 50

3 Die Erzeugung von Vorranggraphen **55**

3.1 Die Bewertung von Vorranggraphen 57

3.2 Bestimmung von günstigen Vorranggraphen 61

3.3 Die Abbildung von Vorranggraphen auf Petri-Netze 69

4 Zyklische Vorranggraphen **71**

4.1 Die Beseitigung von Zykluskanten 71

4.2 Die Einbettung von zyklischen Subgraphen in einen Knoten 73

4.3 Die Aufspaltung von Operationen 76

5 Systembeschreibung **79**

5.1 Das Gesamtsystem 79

5.2 Das Modul zur Spezifikation der Montageaufgabe 81

5.3 Das Modul zur Analyse der Montageaufgabe 83

5.4 Das Modul zur Synthese von Vorranggraphen 84

5.5 Das Modul zur Detailplanung 86

5.5.1 Die Auswahl von Greifertyp und Robotertyp 86

5.5.2 Die Planung der Bahngeometrie 88

5.5.3 Die Planung der Bahndynamik 90

5.5.4 Die Planung von Meßaufgaben 91

5.5.5 Die Bestimmung des Bewegungsspielraums 91

5.5.6 Die Synchronisation mehrerer Roboter 92

6 Zusammenfassung der Arbeit **94**

A Die Analyse des Cranfield Montagesatzes **97**

A.1 Die Montageaufgabe 97

A.2 Das Durchdringungsverbot 99

A.3 Die Stabilitätsforderung 102

A.4 Die Vermeidung von Seiteneffekten 105

A.5 Zusammenfassung von Vorrangrestriktionsmengen 108
A.6 Die Verkettung von Pick- und Place-Graphen 108
A.6.1 Strategie: Möglichst wenige Überkreuzungen 108
A.6.2 Strategie: Optimale Bewegungsbahnen 111

B Die Transformation von Vorranggraphen zu Petri-Netzen 117

C Symbole und Schreibweisen 124

D Liste der Abbildungen 126

E Liste der Tabellen 129

Literaturverzeichnis 130